

**IMPORTANCIA DEL SOFTWARE DAYSY EN LA MODELACIÓN DE LIXIVIACIÓN
NITROGENADA Y SU EFECTO EN LA CALIDAD DEL AGUA**

CAMILO ERNESTO HERNANDEZ ROJAS



**UNIVERSIDAD DE NARIÑO
FACULTAD DE CIENCIAS AGRÍCOLAS
PROGRAMA DE INGENIERÍA AGRONOMICA
SAN JUAN DE PASTO**

2017

**IMPORTANCIA DEL SOFTWARE DAYSY EN LA MODELACIÓN DE LIXIVIACIÓN
NITROGENADA Y SU EFECTO EN LA CALIDAD DEL AGUA**

CAMILO ERNESTO HERNANDEZ ROJAS

**Monografía presentada como requisito parcial para optar por el título de Ingeniero
Agrónomo**

**Presidenta de Monografía
M.Sc. DIANA CAROLINA MORALES PABÓN**

**UNIVERSIDAD DE NARIÑO
FACULTAD DE CIENCIAS AGRÍCOLAS
PROGRAMA DE INGENIERÍA AGRONOMICA
SAN JUAN DE PASTO**

2017

Nota de Aceptación

Aprobado por el Comité de Grado en cumplimiento de los requisitos exigidos por la Universidad de Nariño para optar al título de Ingeniero Agrónomo.

Jurado

Jurado

San Juan de Pasto, noviembre de 2017.

Dedicatoria

Agradecimiento

Tabla de Contenido

	Pág.
Resumen	1
Abstract	2
Introducción	3
1. Planteamiento del Problema.....	5
2. Justificación.....	8
3. Antecedentes	10
4. Objetivos	25
4.1 Objetivo General.....	25
4.2 Objetivos Específicos	25
5. Marco Teórico	26
5.1 Funcionamiento del Programa Daisy	26
5.1.1 Funcionamiento del Software Daisy	26
5.1.2 Variables de Manejo del Software Daisy	27
5.1.3 Requisitos de Datos para el Modelo Daisy	28
5.1.4 Requerimiento de los Datos del Clima.....	29
5.1.5 Datos Perdidos.....	30
5.1.6 Predicciones	30
5.1.7 Datos Clima.....	31
5.1.8 Datos Sobre el Suelo	31
5.1.9 El Nivel Mínimo.....	31
5.1.10. Datos Adicionales de Suelo.....	33
5.1.11 Gestión de la Información Adicional	35
5.1.12. Otros Datos para Fines de Calibración o Validación	35

5.2 Experimento.....	36
5.3 Modelo.....	36
5.3.1 El Uso de Modelos de Simulación en la Agricultura	36
5.4 Simulación	37
5.5 Calidad de Agua	38
5.6 Distribución del Agua en la Tierra	38
5.6.1 Ríos.....	38
5.6.2 Lagos	39
5.6.3 Aguas Subterráneas	39
5.6.4 Recursos Hídricos en Colombia.....	39
5.7 Uso Deseable del Agua.....	40
5.8 Impurezas Encontradas en el Agua	40
5.9 Lixiviación Nitrogenada	41
5.10 Contaminación Difusa	43
5.11 Efectos de los Nitratos en los Seres Vivos	44
6. Metodología	45
7. Resultados	46
7.1 Importancia del Software Daisy en la Modelación de Lixiviación Nitrogenada y su Efecto en la Calidad del Agua	46
7.2 Importancia del Software Daisy en la Dinámica del Nitrógeno en la Producción de Cultivos y su Efecto en la Calidad del Agua.....	46
7.3 Simulación de la Dinámica del Nitrógeno y la Producción de Biomasa en Trigo de Invierno Utilizando el Modelo Danés de Simulación Daisy.....	47
7.3.1 Conclusión.....	51
7.4 Modelado Integrado de la Producción de Cultivos y Lixiviación de Nitratos con el Modelo Daisy.....	51

7.4.1 Detalles de la Investigación.....	52
7.4.2 Preparación del Modelo	52
7.5 Análisis Importancia del Software Daisy para el Efecto de la Dinámica del Nitrógeno en la Producción de Cultivos y su Relación con la Calidad de Agua	56
7.6 Importancia del Software Daisy en Comparación a Otros Modelos de Simulación	58
7.7 Descripción del Modelo.....	61
7.7.1 Infiltración y Acumulación de Agua	62
7.7.2 Evaporación del Suelo.....	62
7.7.3 Dinámica del Agua en el Suelo	62
7.7.4 Transpiración.....	63
7.7.5 Crecimiento del Cultivo	63
7.8 Dinámica del Carbono	64
7.9 Materia Orgánica (MO)	64
7.10 Dinámica del Nitrógeno.....	66
7.10.1 Consumo de N.....	69
7.10.2 Temperatura del Suelo	70
7.11 Diseño del Software Daisy	70
7.11.1 Componente Analizador.....	71
7.11.2 Variables de Manejo.....	71
7.11.3. Componentes de la Columna.....	71
8. Conclusiones	74
9. Recomendaciones.....	75
10. Lista de Referencias	76

Lista de Tablas

	Pág.
Tabla 1. Antecedentes a nivel internacional.....	10
Tabla 2. Antecedentes a nivel nacional.	19
Tabla 3. Esquema de tratamientos experimentales disponibles para evaluaciones del modelo.....	48
Tabla 4. Parámetros utilizados en el modelo.....	49
Tabla 5. Modelo de rendimiento de validación para los experimentos de campo en la estación de Luancheng, North China Plain.	54

Lista de Figuras

	Pág.
Figura 1. Impurezas del agua, adaptado por (Barnes et al 1981).	41
Figura 2. Ciclo del nitrógeno.....	43
Figura 3. Simulado las concentraciones medidas de nitrato.	50
Figura 4. Principales etapas de la estrategia de modelización integrada para establecer el modelo Daisy.....	52
Figura 5. Esquema del modelo Daisy.....	60
Figura 6. Esquema del componente hidrológico del modelo Daisy.....	62
Figura 7. Esquema del ciclo del C componente incluido en el modelo Daisy.....	64
Figura 8. Esquema de la dinámica de la materia orgánica (MO) incluida en el modelo Daisy.	66
Figura 9. Representación esquemática del ciclo del N en el suelo.	69
Figura 10. Esquema del modelo de simulación Daisy.	70
Figura 11. Componentes de la columna.	72

Resumen

El modelo de simulación Daisy puede predecir la producción, el impacto ambiental en forma de lixiviación y el cambio en la calidad del suelo (carbono) a lo largo del tiempo. Así mismo es utilizado como límite superior para un modelo de agua subterránea. El trabajo propuesto realiza una discusión de la literatura revisada, mediante la identificación de funciones del modelo Daisy para determinar el desarrollo de sus componentes de entrada y salida para el efecto de la dinámica del nitrógeno en la producción de cultivos. Así mismo analiza su posible efecto en la calidad del agua, determinado si es posible adaptar el software a las actuales condiciones regionales y que variables se deben tener en cuenta para su aplicación.

La investigación propuesta permitió concluir que, el software Daisy se desarrolló como una herramienta que facilita la toma de decisiones en zonas locales y regionales para el establecimiento de buenas prácticas de manejo. Cumpliendo con las normas de protección de cuerpos de agua y estudios de evaluación de impacto ambiental relacionados calidad de agua. La evaluación del modelo Daisy en varios conjuntos de datos independientes aumenta la robustez, al menos en escalas de tiempo más gruesas, como mes o año. Produciendo una valiosa plataforma para la adaptación del modelo a nuevos cultivos o para la mejora de los parámetros existentes.

Palabras Clave: Agua, Clima, Componente, Contaminación, Modelo, Simulación, Software, Suelo, Programa, Validación.

Abstract

The Daisy simulation model can predict the production, the environmental impact in the form of leaching and the change in the quality of the soil (carbon) over time. It was also used as the upper limit for an underground water model. The proposed work makes a discussion of the literature reviewed, by identifying functions of the Daisy model to determine the development of its input and output components for the effect of nitrogen dynamics on crop production. It also analyzes its possible effect on water quality, determined if the software can be adapted to the current regional conditions and that the variables must be taken into account for its application.

The proposed research concludes that Daisy software was created as a tool that facilitates decision making in local and regional areas for the establishment of good management practices. Complying with water body protection regulations and environmental impact assessment studies related to water quality. The evaluation of the Daisy model in several independent data sets increases the robustness, at least in thicker timescales, such as month or year. Producing a valuable platform for the adaptation of the model to new crops or for the improvement of existing parameters.

Keywords: Water, Climate, Component, Pollution, Model, Simulation, Software, Soil, Program, Validation.

Introducción

Los esfuerzos científicos para cubrir la creciente demanda de alimentos de la población, evitando el continuo deterioro del ambiente, precisan de un método que reconozca lo complejo del mundo real. Esta complejidad surge tanto de consideraciones de naturaleza físico-químico-biológicas, como también de factores socioeconómicos, culturales y políticos. Un método que incrementa la comprensión de los conceptos básicos y que al mismo tiempo organiza este conocimiento dentro de un marco dinámico y cuantitativo, es comúnmente conocido como Análisis de Sistemas o Investigación de Sistemas (System Analysis o System Research). (Price M. , 2013)

En contraste, los modelos de simulación de cultivos tienen varias aplicaciones actuales y potenciales en respuesta a temas relacionados con la investigación, como son el manejo de cultivos y la planificación. Esta herramienta es fundamental para entender la complejidad que caracteriza los sistemas ecológicos y ambientales. Esto se debe a que es el único medio disponible para traducir una colección de hipótesis acerca de procesos ecológicos, en una representación de cómo el ecosistema funciona en su totalidad. (Naivy Hernández, 2009)

Al respecto, Jagdish K. Ladha (2005) afirma que: “el 50% de la población mundial depende de los fertilizantes para la producción de alimentos y alrededor de 60% de ellos corresponde a fertilizantes nitrogenados para la producción de arroz, trigo y maíz” (págs. 2-72).

Por lo anterior, se debe tener en cuenta que el proceso de transformación de la urea y de los compuestos amoniacales a las formas más estables de nitrógeno y nitritos se realizan con rapidez, siempre en condiciones de temperatura y humedad adecuadas, lo que aumentará el riesgo de contaminación hídrica ocasionando procesos de degradación de los recursos naturales como eutroficación de cuerpos de agua y acidificación del suelo, emisiones de gases de invernadero, pérdida de la biota del suelo y fertilidad. (Ruiz, 2007, pág. 259)

Por esta razón, la agricultura es considerada como una de las fuentes más importantes de contaminación por NO_3 , especialmente de las reservas hídricas del subsuelo como resultado del uso excesivo de fertilizantes, tanto químicos como orgánicos, y prácticas de riego deficientes. (Portocarrero, 2016)

Por lo tanto, el uso del software Daisy permite entender la complejidad que caracteriza los sistemas ecológicos y ambientales, y lo más importante conlleva a realizar un análisis de impactos tecnológicos, económicos, ambientales, como también pronósticos del rendimiento de los cultivos. (Hansen, Jensen, Nielsen, & Svendsen, 1991)

La implementación de estas herramientas constituye la importancia en la toma decisiones en campo, como lo es el cuantificar los riesgos de los sistemas ecológicos y predecir las necesidades de cada situación, siendo así el fenómeno de la lixiviación nitrogenada y su efecto en la calidad de agua.

Conocer los efectos a largo plazo del proceso de contaminación en aguas superficiales y subterráneas, contribuye a determinar opciones para mejorar la calidad de agua, mediante la implementación de herramientas de modelación que permita el diagnóstico y que conlleve a la identificación del deterioro de las propiedades del agua. Por lo tanto es necesario analizar la contribución del modelo Daisy como una herramienta para el desarrollo de los procesos encaminados a la gestión del recurso hídrico, de esta manera profundizando en la influencia del nitrógeno en el agua. (Salazar, Nájera, Tapia, & Casanova, 2017)

1. Planteamiento del Problema

Los modelos de agricultura intensiva, caracterizados con el propósito de resolver la alta demanda de alimentos en un escenario del aumento exponencial de la población mundial, han generado una serie de acciones nocivas para el medio ambiente, cuyos problemas se manifiestan a nivel, local, regional, nacional y global. Uno de los procesos más comunes de degradación ambiental generada por las malas prácticas agrícolas, es la contaminación difusa por nitratos de los recursos hídricos subterráneos. ¿Se pueden desarrollar métodos que manifiesten una producción agrícola sostenible a largo tiempo que reduzcan los niveles de contaminación difusa por nitratos?

Al respecto se puede establecer que, una de las alternativas es el poco uso y conocimiento de paquetes tecnológicos, software de modelación ambiental que permitan dar una solución a problemas como la producción de cultivos, el impacto ambiental en forma de lixiviación y el cambio de la calidad del suelo a lo largo del tiempo, la presente revisión de literatura pretende dar a conocer un modelo de simulación que se denomina DAISY.

El modelo DAISY describe la simulación de cultivos, la dinámica del agua en el suelo así mismo, la dinámica del nitrógeno en la producción de cultivos en diversas prácticas, como: producción, cosecha y arado. Este modelo se ha dado a conocer para mirar la importancia y su aplicación en distintos estudios de caso que permitan el desarrollo de soluciones en el medio regional y local, tomando una serie de conclusiones que den las respuesta si el modelo se puede validar para futuras investigaciones la nuestra región. (Price M. , 2013)

Actualmente existen paquetes disponibles en el mercado que permitan la simulación de muchos tipos de problemas, en los que únicamente es necesario introducir las condiciones de frontera, propiedades del acuífero alguna información adicional. Estos paquetes incluyen opciones para la simulación del comportamiento del acuífero con geometría complicada y litología variable, para predecir cambios en la composición química del agua subterránea y para calcular la velocidad de los contaminantes.

La tendencia actual es la expansión en la complejidad de los modelos para aprovechar con rapidez y memoria de las computadoras. En la actualidad las computadoras, las portátiles, pueden operar modelos que hace hasta algunos años se manejaban en computadoras de gran tamaño sin

embargo los investigadores siguen desarrollando modelos más complicados que aprovechan la capacidad de las computadoras. El empleo de estos modelos a menudo revela la existencia de imperfecciones en el conocimiento de los acuíferos. Sin embargo, es necesario puntualizar que el uso de modelos requiere de mucha discreción y sensatez; la frase “si se pone basura sale basura”, indica la clase de resultados que se obtendrán de un modelo, sin importar su grado de complejidad, que es alimentándolo con datos incorrectos sin importar o que se fundamenta en suposiciones erróneas.

Existen quizá dos peligros principales, el primero consiste en que la programación de modelos se está convirtiendo en una actividad muy especializada, por lo que investigadores de este campo corren el peligro de alejarse de la realidad que tratan de entender y representar. El segundo peligro es que, por tratar de evitar el problema anterior, se desarrollan modelos con una interfaz amigable y fácil de manejar, de tal modo alguno de los hidrogeólogos que tratan de resolver problemas cotidianos tienen una herramienta que probablemente no comprenden y quizá usen una forma errónea. La modelación tiene la ventaja de ser eficiente y económica, pero presenta el problema que a largo plazo presenta investigadores con perfiles diferentes, en donde uno tiene la experiencia del otro, por lo que la comunicación entre ellos puede tornarse complicada. (Price M. , 2013)

En décadas pasadas los esfuerzos se centraron en resolver los problemas de contaminación difusa, la cual se abordó en los países industrializados mediante la mejora de las técnicas de tratamiento de aguas residuales y la implantación de un mayor número de plantas de tratamiento de aguas residuales (Stanners & Bourdeaux 1995). Sin embargo, con el progresivo incremento del grado de depuración y limitación de los vertidos puntuales, los problemas de contaminación no han desaparecido, situando a la contaminación difusa como la principal afección de los recursos hídricos en la actualidad (De Wit et al. 2000; Ministerio de Medio Ambiente 2000). (Martínez Bastida, 2009)

Los contaminantes de procedencia no localizada, cualquiera que sea la fuente, se desplazan por la superficie terrestre o penetran en el suelo, arrastrados por el agua de lluvia. Estos contaminantes consiguen abrirse paso hasta las aguas subterráneas, tierras húmedas, ríos y lagos y, finalmente, hasta los océanos en forma de sedimentos y cargas químicas transportadas por los ríos, la repercusión ecológica de estos contaminantes puede ir desde pequeños trastornos hasta graves catástrofes ecológicas, con repercusiones en los peces, las aves y mamíferos y sobre la salud

humana. Diversidad y relativa complejidad de la contaminación agrícola procedente de fuentes no localizadas. (FAO, 2013)

2. Justificación

En la búsqueda de prácticas de manejo que reduzcan los efectos negativos de las pérdidas de NO_3 hacia los ecosistemas acuáticos, es necesario establecer una idea sobre los procesos que regulan la dinámica del N en los suelos. Sin embargo, los mecanismos que determinan las pérdidas de N son complejos y dependen de muchos factores tales como el uso de la tierra, prácticas de manejo, tipo de suelo y clima. En este sentido Quinn (2004), establece que: “el desarrollo de modelos computacionales ha proporcionado las herramientas para describir los mecanismos de retención y liberación de N en los suelos” (Tapia López, 2014).

Dichos modelos según Salazar (2009), se basan en los procesos físicos, químicos y biológicos que afectan el ciclo del N y su relación con el movimiento de agua, los que son integrados para ayudar a conectar las complejas interacciones que ocurren entre éstos. (Tapia López, 2014)

Por tanto, los modelos están siendo utilizados como una herramienta en la toma de decisiones para el establecimiento de buenas prácticas de manejo y por ello cumplir con las normas de protección de cuerpos de agua, principalmente en zonas identificadas como vulnerables y de potencial alto de contaminación difusa por NO_3 . (Tapia López, 2014)

Uno de los modelos más utilizados en Europa para simular la dinámica del agua, N y carbono (C) en los suelos, es el software Daysy. Este es un modelo de sistema suelo-planta- atmósfera diseñado para simular el balance hídrico, el equilibrio térmico, el balance de solutos y la producción de los cultivos en los agroecosistemas sometidos a diversas estrategias de manejo. (Abrahamsen & Hansen, 2000)

El modelo ha sido satisfactoriamente evaluado en numerosos estudios en suelos agrícolas en Dinamarca. (Abrahamsen & Hansen, 2000), Alemania (citado por Svendsen, 1995), Republica Checa (citado por Jensen, 1997) y China (citado por Krobek, 2010) y en la zona central de Chile (citado por Tapia, 2014). Sin embargo, este modelo no ha sido aplicado en la región tropical de Colombia, por lo tanto, el objetivo general es analizar la importancia del software DAISY para el efecto de la dinámica del nitrógeno en la producción de cultivos y su relación con la calidad de agua herramienta para la definición de zonas de riesgo de contaminación difusa en la zona del trópico colombiano.

Por otra parte, las investigaciones relacionadas con el estudio de contribución del programa DAYSY en la modelación de lixiviación nitrogenada y su efecto en la calidad del agua, son escasas, por tal razón se ha considerado la importancia de este estudio con el fin de afianzar y acrecentar el avance investigativo en la región.

3. Antecedentes

Tabla 1.

Antecedentes a nivel internacional.

Título y Autor	Objetivos	Conclusiones	Aporte hacia la Monografía
<p>Dinámica de Nitrógeno y Retención de Nitratos en <i>Coffea arabica</i>: Sistema Agroforestal de <i>Eucalyptus deglupta</i> en el Sur de Costa Rica.</p> <p>Jean-Michel Harmand, Hector Ávila, Etienne Dambrine, Ute Skiba, Sergio de Miguel, Reina Vanessa Renderos, Robert Oliver, Francisco Jiménez and John Beer.</p>	<p>Comprender los posibles controles de Pérdidas de N y los efectos consecuentes sobre la calidad del agua en dos Sistemas de café contrastantes.</p>	<p>Como resultado, estos árboles contribuyeron a reducir la lixiviación de NO₃. Sin embargo, tanto en las plantaciones sombreadas como en las no sombreadas, el café y los árboles de madera utilizaron sólo una pequeña fracción de fertilizante y N mineralizado, resultando en altas pérdidas de N por lixiviación por debajo de 60 y 120 cm de profundidad.</p>	<p>La lixiviación de NO₃ en aguas subterráneas a 200 cm de profundidad, y en aguas de manantiales, se redujo drásticamente debido a una fuerte retención de aniones en el subsuelo en este sitio. Este proceso puede retrasar y mitigar la contaminación del agua subterránea en grandes áreas de América Central y del Sur, donde los Acrisols son fuertemente fertilizados. Por otra parte, los daños ambientales causados por el uso excesivo de fertilizantes en estos suelos pueden no ser detectados rápidamente y los efectos deletéreos podrían prolongarse mucho después de la administración.</p>
<p>Dinámica de Nitrógeno y Retención de Nitratos en <i>Coffea arabica</i>: Sistema Agroforestal de <i>Eucalyptus deglupta</i> en el Sur de Costa Rica.</p> <p>Jean-Michel Harmand, Hector Ávila, Etienne Dambrine, Ute Skiba, Sergio de Miguel,</p>	<p>Comprender los posibles controles de Pérdidas de N y los efectos consecuentes sobre la calidad del agua en dos Sistemas de café contrastantes.</p>	<p>Como resultado, estos árboles contribuyeron a reducir la lixiviación de NO₃. Sin embargo, tanto en las plantaciones sombreadas como en las no sombreadas, el café y los árboles de madera utilizaron sólo una pequeña fracción de fertilizante y N mineralizado, resultando en altas pérdidas de N por</p>	<p>La lixiviación de NO₃ en aguas subterráneas a 200 cm de profundidad, y en aguas de manantiales, se redujo drásticamente debido a una fuerte retención de aniones en el subsuelo en este sitio. Este proceso puede retrasar y mitigar la contaminación del agua subterránea en grandes áreas de América Central y del Sur, donde los Acrisols son fuertemente fertilizados. Por otra parte, los daños ambientales</p>

Título y Autor	Objetivos	Conclusiones	Aporte hacia la Monografía
Reina Vanessa. Renderos, Robert Oliver, Francisco Jiménez and John Beer.		lixiviación por debajo de 60 y 120 cm de profundidad.	causados por el uso excesivo de fertilizantes en estos suelos pueden no ser detectados rápidamente y los efectos deletéreos podrían prolongarse mucho después de la administración.
Modelando la dinámica del agua con DNDC y DAISY en un suelo de la llanura del norte de China: un estudio comparativo. Roland Kroßbel, Qiping Sun, Joachim Ingwersen, Xinping Chen, Fusuo Zhang, Torsten Müller, Volker Römheld.	Comparar el desempeño del DNDC (modelo en cascada) con el del modelo Daisy (ecuación de Richard) para simular el movimiento del agua en un suelo típico de la llanura de China del Norte. Explorar posibles mejoras y adaptaciones a los modelos en relación con el sitio específico de estudio.	El modelo DNDC no pudo dar resultados satisfactorios tanto antes como después de la optimización, el modelo Daisy fue capaz de simular la dinámica del agua del suelo razonablemente bien después de los parámetros de van Genuchten que se estimaron a partir de la retención de agua medida.	El enfoque de la ecuación de Richard (físicamente basada para simular el movimiento del agua en el suelo) que se utiliza en el modelo Daisy, es más adecuado para modelar la dinámica de agua del suelo en el suelo estudiado de la cascada.
Simulación de tendencias en el carbono orgánico del suelo en experimentos a largo plazo utilizando el modelo suelo-planta-atmósfera DAISY. LS Jensen, T. Mueller, N.E. Nielsen, S. Hansen, G.J.	Probar el desempeño de DAISY con respecto a la simulación de tendencias a largo plazo en los niveles totales de Carbono del suelo bajo diferentes condiciones climáticas y de manejo. Evaluar la aplicabilidad general del modelo.	El modelo DAISY tuvo un comportamiento razonablemente bueno al simular las tendencias de los niveles totales de Carbono del suelo en la mayoría de los sitios arables, pero sólo pudo simular cambios en el sitio de la pradera utilizando suposiciones sobre los insumos de Carbono derivados de la planta al	El modelo DAISY fue desarrollado originalmente para una simulación muy detallada a corto plazo (una estación de cultivo o una rotación de cultivos) de la producción de cultivos herbáceos, la dinámica del agua y la dinámica del nitrógeno. Este trabajo define que el modelo DAISY ha demostrado ser capaz de simular Tendencias a largo plazo en materia orgánica del suelo razonablemente bien.

Título y Autor	Objetivos	Conclusiones	Aporte hacia la Monografía
Crocker, P.R. Grace, J. Klír, M. Körschens, P.R. Poulton.		suelo. Este es un punto muy crítico para el sitio de césped permanente, pero es igualmente problemático en todas las rotaciones con cultivos perennes, p. alfalfa.	
Modelado integrado de la producción de cultivos y lixiviación de nitratos con el modelo Daisy Kiril Manevskia, Christen D. Børgesena, Xiaoxin Lib, Mathias N. Andersena, Per Abrahamsend, Chunsheng Hub, Søren Hansenc.	Diseñar y aplicar una estrategia de modelado integrada al modelo de transferencia de suelo-vegetación-atmósfera Daisy para simular la producción de cultivos y la lixiviación de nitratos bajo condiciones pedóticas y agronómicas diferentes de la parametrización original del modelo.	Los resultados de los escenarios indicaron opciones para la gestión regional de N en relación con la tasa de fertilización nitrogenada, la incorporación de la paja y el riego de campo que devolverá un alto rendimiento de los cultivos y una baja lixiviación de nitratos.	La calibración de la lixiviación de nitratos se realizó alterando el compartimento de volumen de materia orgánica del suelo (SOM). Para cada simulación se incluyó un período histórico de cinco años antes del año de experimentación (un período de calentamiento) con datos conocidos para la entrada de N de fertilizantes y residuos de cultivos, con el fin de aproximar la mineralización neta anual, es decir, la liberación de N de la mineralización de La materia orgánica se agrupa en el modelo.
Los cultivos de captura afectan la dinámica del nitrógeno en sistemas de agricultura orgánica sin ganadería- Simulaciones con el modelo DAISY Torsten Muller, Kristian Thorup-Kristensen, Jakob Magid, Lars Stoumann Jensen, Søren Hansen.	Comprobar la hipótesis: el suelo-planta-atmósfera El modelo DAISY es capaz de simular rotaciones de cultivos orgánicos Incluido el uso prolongado de cultivos de captura y estiércol. Enfatizándose en la simulación de N-mineralización / inmovilización y de microbios del suelo	El modelo DAISY fue capaz de simular el mineral N después de la incorporación de residuos de plantas de cultivo de captura en cierta medida sólo. Los siguientes procesos necesitan mayor atención y pueden integrarse en los modelos de rotación del suelo C y N y en particular en el modelo DAISY.	La producción vegetal está optimizada por el ciclo de nutrientes del ecosistema agroalimentario, especialmente en los ecosistemas y Sistemas agrícolas. Esto incluye el reciclaje y la utilización de fuentes de nitrógeno natural (N), tales como N En residuos de cultivos fijadores de N, abonos verdes.

Título y Autor	Objetivos	Conclusiones	Aporte hacia la Monografía
	Biomasa.		
<p>Reducción de lixiviación de nitrógeno mediante cultivo intercalado de maíz con festuca roja en suelos arenosos en Europa del Norte: un estudio combinado de campo y modelado.</p> <p>Kiril Manevski y Christen D. Børgesen y Mathias N. Andersen & Ib S. Kristensen</p>	<p>Utilización de datos de campo y modelos dinámicos para estudiar los efectos de la disponibilidad de N en los sistemas de maíz en Dinamarca que difieren en la historia de cultivo, el consorcio y la cantidad de N de fertilizante recibido.</p> <p>Calibrar y validar el modelo DAISY con respecto al crecimiento de los cultivos, la dinámica del N del suelo mineral y la lixiviación.</p> <p>Utilizar el modelo para discutir los datos de campo en relación con los efectos de la administración N sobre monocultivo de maíz e intercalado Sistemas.</p>	<p>Se encontró que el modelo DAISY era una herramienta útil para el análisis de los procesos de crecimiento de los cultivos y de la dinámica del N de los sistemas complejos. Ciertas discrepancias ocurrieron entre los datos medidos y simulados, principalmente debido a las deficiencias del modelo en simular con precisión el crecimiento de la festuca roja y la dinámica de las piscinas de OMA que incluían pasto herbáceo en los años previos a los experimentos.</p>	<p>Reducir la lixiviación de N, manteniendo el rendimiento bajo condiciones climáticas y del suelo en el norte de Europa, experimentalmente y con el apoyo del modelo de simulación DAISY.</p>
<p>Inicialización de las reservas de materia orgánica del suelo del modelo Daisy.</p>		<p>Una simulación de prueba con los insumos estimados y las condiciones físicas en los diferentes podría utilizarse para estimar la distribución</p>	<p>Daisy generalmente ha sido inicializado usando una distribución estándar, que casi corresponde al equilibrio. En aplicaciones de otros modelos, se ha elegido la distribución</p>

Título y Autor	Objetivos	Conclusiones	Aporte hacia la Monografía
Sander Bruun, Lars S. Jensen		inicial entre los más lentos y usualmente más grandes las reservas de materia orgánica, que son las más importantes en simulaciones a largo plazo de SOM.	inicial entre los diferentes conjuntos de materia orgánica asumiendo el equilibrio al inicio de la simulación, utilizando valores estándar o calibrando la distribución inicial para optimizar la simulación actuación.
Modificación del modelo DAISY SVAT para el uso potencial de datos de detección remota. Peter van der Keur Søren Hansen, Kirsten Schelde, Anton Thomsen.	El Objetivo de este trabajo es describir el método seguido para preparar el modelo DAISY para la entrada de datos RS como se prevé en el marco del proyecto de RS-MODEL / tierra financiado por Dinamarca.	Al disminuir el contenido de humedad del suelo durante un período de sequía más prolongado, el flujo alimentario latente modelado fue menor que el observado, lo que exigía una parametrización mejorada de los controles ambientales y una mejor estimación del parámetro r_c min. Este último se puede estimar potencialmente en escalas de paisaje mediante datos de teledetección, lo que debería conducir a un mejor modelado de la superficie Especialmente en áreas donde no se dispone de información sobre el desarrollo de la vegetación.	
Modelar el efecto del uso de la tierra y el cambio climático sobre el balance hídrico y la lixiviación de nitratos en el este de Dinamarca.	Examinar el efecto del uso esperado de la tierra y el cambio climático sobre el balance hídrico y las tasas de lixiviación de nitratos en la parte oriental de Dinamarca.	Se espera que las tasas de lixiviación de nitratos en los suelos MCC3, -4 y -5 en Dinamarca aumenten entre 22 y 44% como resultado de los cambios climáticos. Los cambios climáticos también se asocian con un aumento de la mineralización y la	El desarrollo en el suelo orgánico se ha demostrado que el hecho de que los resultados de la hemodinamización en este grupo de trabajo pueden aumentar las t° puede conducir a un aumento de las tasas de lixiviación de nitrato (en el rango de 22-33%) en comparación con lo que

Título y Autor	Objetivos	Conclusiones	Aporte hacia la Monografía
NH Jensen & A. Veihe.		desnitrificación que refleja los aumentos de temperatura.	se ha simulado con Daisy en este estudio.
Desafíos en el modelado de la dinámica de la materia orgánica disuelta en suelo agrícola utilizando DAISY. Birgitte Gjettermann, Merete Styczen, Hans Christian B. Hansen, Finn P. Søren Hansen.	Presentar el concepto de un nuevo modelo desarrollado en el modelo DAISY, que se ensayó con datos de campo de un estudio sobre movilización y transporte de sustancias orgánicas disueltas tras el cultivo de pastizales.	El modelo confirma las mediciones e ilustra Que las concentraciones de COD y DON muestran menos variabilidad Los subsuelos debidos al tamponamiento del suelo. A pesar de las dificultades Describiendo la dinámica DOC de la capa superficial del suelo, el DOM Módulo es capaz de simular el nivel de concentración del subsuelo de DOC, y también -pero con más incertidumbre- el DON Concentración. Sin embargo, existe una gran necesidad de Probar y desarrollar el modelo a escala de campo.	Un nuevo modelo de DOM ha sido desarrollado e implementado en el código DAISY. El modelo DOM está basado en tres tratamientos y los resultados han destacado algunos procesos que refuerzan el concepto del modelo y las áreas que requieren un mayor desarrollo del modelo.
Lixiviación de Nitrógeno en Sistemas de Cultivo Intensivo en el Distrito Tam Duong, Delta del Río Rojo de Vietnam. V. T. Mai & H. Van Keulen & R. Roetter.	Medir con Precisión la dinámica estacional Del mineral N (NO ₃ -N y NH ₄ -N) en el perfil del suelo Bajo los principales cultivos crecidos en el delta del Río Rojo. UN. Desarrollar un modelo de agua simple y N que podría utilizarse para	Las apreciables pérdidas de lixiviación N de Lluvias y las condiciones de riego, especialmente aplicación de fertilizantes no estaba bien sincronizadas. Las mayores pérdidas de N se registraron en flores (101,2 kg ha ⁻¹ en 2004 y 284,7 kg ha ⁻¹ en 2005 para el rosa; Y 160,8 en 2004 Y 185,8 en 2005 para la	Es posible calcular con exactitud las pérdidas de N con pocos parámetros y ayudó a identificar los riesgos de N Lixiviación

Título y Autor	Objetivos	Conclusiones	Aporte hacia la Monografía
	<p>simular estas dinámicas.</p> <p>Evaluar las pérdidas de N e identificar así mejores fertilizantes</p> <p>Prácticas de manejo de estos cultivos en esta región.</p>	<p>argarita), seguido de repollo (106,8 kg ha-1 en 2004 y 122,8 kg ha-1 en 2005) y Chili (100,6 en 2004 y 122,9 en 2005), mientras que la Las pérdidas más bajas fueron en los sistemas de cultivo de arroz.</p> <p>En la mayoría Casos, el modelo de transporte N simple predicho con precisión</p> <p>La dinámica estacional de N, así como el flujo N entre las capas de suelo y las cantidades de N perfil del suelo, la eficiencias en estos suelos y sistemas de cultivo.</p>	
<p>Cambios en el balance hídrico del suelo después de la forestación de los antiguos suelos arables en Dinamarca evaluados con el modelo DAISY.</p> <p>Osvaldo Salazar, Søren Hansen, Per Abrahamsen, Karin Hansen, Per Gundersen.</p>	<p>Probar la aplicabilidad del modelo DAISY basado en la agricultura para simular equilibrio hídrico en las parcelas forestadas.</p> <p>Evaluar el rendimiento del modelo considerando las incertidumbres en los insumos del modelo Utilizando la metodología GLUE, en particular el rendimiento del modelo de</p>	<p>La composición de la cubierta vegetal es un factor clave en el diseño de futuros proyectos de forestación.</p> <p>Los valores pronosticados indican que la recarga de agua es menor en Noruega Abeto que el roble, debido a una mayor evaporación de intercepción</p> <p>Pérdidas en piceas.</p> <p>Las especies de árboles presentes afectan directamente al agua, en</p>	<p>El modelo DAISY con base agropecuaria demostró ser capaz de evaluar los efectos hidrológicos de la forestación y el modelo tiene potencial para simular futuros procesos hidrológicos en proyectos de forestación.</p>

Título y Autor	Objetivos	Conclusiones	Aporte hacia la Monografía
	<p>conductividad hidráulica de Campbell.</p> <p>Evaluar la Efectos del roble y de la picea noruega sobre el cambio en el balance hídrico utilizando simulaciones de Daisy a largo plazo (35 años).</p>	<p>particular la recarga de agua de los embalses.</p> <p>Las simulaciones de DAISY a largo plazo indica que la diferencia general en la recarga anual de agua entre El roble y la picea noruega era 31-174 mm año¹, Con mayores diferencias Durante los años lluviosos (precipitación > 900 mm año¹).</p>	
<p>Composición de residuos vegetales de diferente calidad en la calibración y simulación de modelos suelo-DAISY a partir de datos experimentales.</p> <p>Torsten Müller, Jakob Magid, Lars Stoumann Jensen, Niels Erik Nielsen.</p>	<p>Evaluar y desarrollar la configuración de parámetros y el enfoque de modelado Propuesta por Mueller et al. (1997) con respecto a la comercialización del estiércol verde leguminoso y de las capturas de residuos de la cosecha en el suelo, y al ciclo del N.</p>	<p>Con los conjuntos de parámetros modificados, fue posible obtener simulaciones confiables de la N-mineralización neta después de la incorporación de los diferentes materiales vegetales Incluyendo leguminosas plantas de estiércol verde. No es posible subdividir la OMA simplemente asignando La parte insoluble en agua del material vegetal añadido A AOM1 y la parte soluble en agua a AOM2, como ha sido indicado por Henriksen y Breland, 1999. Relación C / N y contenido de celulosa de la planta</p>	<p>DAISY no refleja completamente el flujo de N a través SMB después de la adición de fábricas de leguminosas fácilmente descomponibles y el siguiente volumen de ventas en el residuo microbiano del suelo.</p>

Título y Autor	Objetivos	Conclusiones	Aporte hacia la Monografía
		<p>añadida de los residuos pueden ser indicadores útiles de material lentamente descomponible (AOM1). Y una parte rápidamente descomponible (AOM2). AOM1 y AOM2 no se puede simular con el mismo volumen las constantes de velocidad para materiales vegetales que difieren.</p> <p>El modelo DAISY no refleja completamente la incorporación De N en SMB después de la adición descomponible fácilmente de material vegetal.</p>	

Tabla 2.

Antecedentes a nivel nacional.

Título y Autores	Objetivo	Conclusiones	Aportes hacia la Monografía
Daisy, un modelo de sistema suelo-planta-atmósfera flexible. Per Abrahamsen, Søren Hansen.	El énfasis de este artículo está en el diseño de la nueva implementación de Daisy. Aplicación del programa Daisy.	Que Daisy es un modelo abierto. Daisy se ha vinculado a la distribución hidrológica Modelo de captación MIKE / SHE a nivel de código.	El protocolo y propuesta del modelo Daisy.
Calibración y validación de la dinámica de la materia orgánica del suelo Del modelo de Daisy con datos de los experimentos a largo plazo de Askov. Sander Bruun, Bent T, Christensenb , Elly M. Hansenb , Jakob Magida , Lars S. Jensena.	Los objetivos del presente estudio fueron hacer una calibración del modelo Daisy.	La calibración y validación de la dinámica SOM en el modelo Daisy con datos de experimentos a largo plazo de Askov confirmó que la calibración original del modelo se basó en una entrada demasiado baja de C subterránea, una conversión demasiado baja de C orgánico agregado en más estable SOM, y una tasa de descomposición SOM global demasiado baja. Llegamos a la conclusión de que la fracción de SOM involucrados en el volumen de negocios a medio plazo es probablemente mucho más grande de lo que se suponía anteriormente e inferido por el modelo Daisy. Pruebas más críticas de modelos con datos de experimentos a largo plazo con tratamientos (incluidos los barbechos sin vegetación) y	Simula cambios a largo plazo en la dinámica del suelo Carbono y nitrógeno en respuesta a los cambios climáticos, manejo del suelo y uso del suelo.

Título y Autores	Objetivo	Conclusiones	Aportes hacia la Monografía
		contrastar los contenidos iniciales de la SOM es urgentemente necesario.	
Evaluación del modelo DAISY para predecir pérdidas por lixiviación de nitrógeno en suelos de textura gruesa en la zona central de Chile. Wilson Tapia.	Como objetivo general se considera el evaluar la aplicabilidad del modelo computacional DAISY para predecir las pérdidas de N por lixiviación en cuatro suelos de textura gruesa y su uso como herramienta de ordenamiento territorial para la definición de zonas de riesgo de contaminación difusa.	En futuros estudios se recomienda utilizar una base de datos mayor que incluya suelos de textura fina, para recomendar el uso del modelo DAISY como una herramienta más confiable para estimar pérdidas por lixiviación en la zona central de Chile.	Aportes, en la descripción del modelo y evaluación y en la predicción de pérdidas de lixiviación nitrogenada.
Ejemplos de pruebas de identificación global con el software DAISY. MP Saccomani, J.L. D'Angio	El objetivo principal de este trabajo no está en la descripción de los antecedentes matemáticos del algoritmo, que se ha presentado en otro lugar, sino en la ilustración de su uso y en algunas de sus características más interesantes.	<p>El software DAISY complementario, descrito en Bellu Et al. [2004] ha demostrado ser muy útil y fácil de usar Herramienta para este propósito.</p> <p>DAISY es la única herramienta de software que, aunque está siendo basado en un conjunto bastante sofisticado de herramientas matemáticas, no requiere experiencia en modelización matemática por el experimentador</p>	
Un enfoque de modelización de la lixiviación global de nitratos causada por fertilización antropogénica	La descripción de un nuevo enfoque de modelado para evaluar cuantitativamente el efecto del uso de fertilizantes	Utilizando una simulación global basada en procesos del ciclo del nitrógeno en los ecosistemas terrestres, se evaluó hasta qué punto el ciclo del	Modelación, lixiviación nitrogenada

Título y Autores	Objetivo	Conclusiones	Aportes hacia la Monografía
BIN-LE LIN, A. Sakoda , R. Shibasaki y M. SUZUKI	en la lixiviación de nitrato global.	nitrógeno en los ecosistemas naturales ha sido perturbado por la fertilización.	
Lixiviación de nitrógeno y nitratos de suelo, nitritos y niveles de amonio bajo trigo de riego en el norte de México. WJ RileyI. Ortiz, PA Matson.	Estimación de las pérdidas de lixiviación inorgánica estacional en sistemas de riego de trigo en el Valle Yaqui del noroeste de México.	Los resultados de este estudio indican que la gestión de fertilizantes puede influir sustancialmente en las pérdidas de lixiviación. En particular, las prácticas de manejo que se aplican a principios del ciclo de cultivos, probablemente causarán pérdidas significativas, mientras que las prácticas que relacionan más estrechamente la aplicación de fertilizantes con la demanda de las plantas pueden reducir sustancialmente las pérdidas de lixiviación de N.	Lixiviación de nitrógeno y nitratos de suelo.
Evaluación del modelo CERES-Maize del DSSAT para simular la lixiviación de nitratos, el rendimiento y el contenido de humedad del suelo en condiciones tropicales. Mohammad E. Asadi y Roberto S. Clemente.	El objetivo de este estudio es evaluar la capacidad de CERES-Maize V. 3.7 distribuido con DSSAT Para simular el rendimiento del maíz, la lixiviación de nitratos y la captación de nitrógeno.	En el presente caso, los resultados de simulación muestran que el modelo simula el movimiento de exceso de NO ₃ -N través del perfil del suelo. Este estudio demostró que el modelo puede aplicarse con confianza para estudiar los efectos de la fertirrigación y el manejo del riego en los componentes del rendimiento del maíz, la absorción de N y la lixiviación de nitratos en condiciones tropicales.	Tipos de modelo y evaluación del contenido de agua y nitratos en el suelo para condiciones tropicales.

Título y Autores	Objetivo	Conclusiones	Aportes hacia la Monografía
Lixiviación de Nitrato en un Argiudoll Cultivado con Caña de Azúcar. R. A. de los Portocarrero MM Acreche.	El objetivo de este estudio fue cuantificar la lixiviación de nitratos a partir de un Argiudoll Aquic cultivado con caña de azúcar en Tucumán, durante la segunda y tercera socas.	La lixiviación de nitratos se observó al inicio de la estación de lluvias, cuando simultáneamente se presentaron drenajes profundos de agua y nitratos disponibles de la fertilización anual de la caña de azúcar.	Uso de la ecuación de Richard, en la implementación de otros modelos según e análisis de lixiviación nitrogenada.
Modelado bidimensional de la lixiviación de nitratos para diversos escenarios de fertirrigación bajo micro riego. Gardenas, JW Hopmans, BR Hanson, J. Simunek.	El objetivo específico de este estudio fue evaluar los controles de la estrategia de fertirrigación y el tipo de suelo sobre el potencial de lixiviación de nitrato para cuatro sistemas de micro-irrigación diferentes, cada uno asociado con un cultivo típico.	Conclusión: la lixiviación potencial aumenta a medida que las diferencias entre la medida del volumen suelo mojado y enraizamiento.	Métodos de fertirrigacion para evaluar el tipo de suelo para determinar las pérdidas de nitratos en el suelo.
Modelado bidimensional de la lixiviación de nitratos para diversos escenarios de fertirrigación bajo micro riego. Gardenas, J.W. Hopmans, B.R. Hanson J. Simunek.	El objetivo específico de este proyecto fue evaluar el efecto de la estrategia de fertirrigación y el tipo de suelo sobre el potencial de lixiviación de nitrato para cuatro sistemas de micro riego diferentes.	Se encontró que la lixiviación estacional fue la más alta para los suelos de textura gruesa y concluimos que la fertirrigación al inicio del ciclo de riego tiende a incrementar la lixiviación estacional de nitratos. Por el contrario, los eventos de fertirrigación al final del ciclo de riego redujeron el potencial de lixiviación de nitratos. Para todos los sistemas de riego aplicados a la superficie en suelos de textura más fina, la dispersión lateral del agua y los nitratos se intensificó mediante el estancamiento de las aguas superficiales, haciendo que el	Lixiviación de nitratos.

Título y Autores	Objetivo	Conclusiones	Aportes hacia la Monografía
		agua se extendiera a través de la superficie con posterior infiltración hacia abajo y extensión horizontal del nitrato del suelo cerca de la superficie del suelo.	
Nitratos, agricultura y medio ambiente. E. V. S. Prakasa Rao y K. Puttanna.	El peligro de lixiviación de nitratos y la contaminación de las aguas subterráneas.	Por lo tanto, es necesario minimizar la lixiviación de nitratos de las actividades agrícolas y no agrícolas. En los países desarrollados, el enfoque para reducir la contaminación por nitratos se basa en gran medida en el cambio del patrón de uso de la tierra.	Estrategias, para reducir el uso de fertilizantes nitrogenados.
Modelización de opciones de mitigación para reducir la contaminación difusa de nitrógeno por la agricultura. Fayçal Bouraoui , Bruna Grizzetti B.	el objetivo de este trabajo fue analizar cómo se han utilizado modelos en Europa para evaluar las medidas de mitigación para reducir la contaminación por nitrógeno del agua y para reflexionar sobre los principales desafíos de su aplicación teniendo en cuenta las necesidades de la actual Europa-una política medioambiental..	La falta de plena implementación de la legislación es parcialmente responsable del problema de la contaminación por nitrógeno.	Los modelos para evaluar contaminación difusa y lixiviación nitrogenada.
Modelización de escenarios para evaluar los efectos de diferentes métodos de gestión agrícola y uso del suelo para reducir la contaminación por nitrógeno en el río Elba.	El objetivo de este estudio de caso fue evaluar los potenciales efectos de reducción de varias estrategias de mitigación sobre las emisiones de nitrógeno de la agricultura y sus efectos regionales sobre las inmisiones	Los resultados del estudio de caso muestran que los efectos de las medidas únicas para reducir la contaminación por nutrientes no pueden ser juzgados sin considerar su contexto espacial. La limitación de los recursos para fomentar la ordenación	

Título y Autores	Objetivo	Conclusiones	Aportes hacia la Monografía
KC Kerseb AUM J. Steidl O. Bauer B, H.P. Piorr C.	de nitrógeno en el río Elba, considerando un riesgo de impacto fluvial diferenciado de los sitios agrícolas utilizados.	orientada al medio ambiente y el uso de la tierra requiere la asignación selectiva de medidas de mitigación para la contaminación por nutrientes	
Indicadores Ambientales para Evaluar el Riesgo de Pérdidas Difusas de Nitrógeno de la Agricultura. Uwe Buczko Rolf O. Kuchenbuch.	Se centró en la evaluación de la contaminación de fuentes no puntuales de compuestos de nitrógeno (principalmente nitrato) procedentes de la agricultura.	Los enfoques de NLI varían con respecto a su complejidad, los factores y procesos considerados, los datos de entrada requeridos y el enfoque general (por ejemplo, pérdida por zona de raíz, vulnerabilidad del agua subterránea, influencia del riego).	Contaminación difusa. Indicadores para evaluar pérdidas por nitrógeno.

4. Objetivos

4.1 Objetivo General

Analizar la importancia del software DAISY para el efecto de la dinámica del nitrógeno en la producción de cultivos y su relación con la calidad de agua.

4.2 Objetivos Específicos

1. Describir las funciones que cumple el software DAYSY en la modelación de lixiviación nitrogenada y su efecto en la calidad del agua.
2. Categorizar las diferentes funciones del software DAISY en la modelación de lixiviación nitrogenada y su efecto en la calidad de agua.

5. Marco Teórico

5.1 Funcionamiento del Programa Daisy

Daisy es un modelo de simulación mecanicista de los procesos físicos y biológicos en un campo agrícola. Traza el destino del agua, la energía, el carbono, el nitrógeno y los pesticidas, tanto por encima como por debajo del suelo. El modelo puede predecir la producción, el impacto ambiental en forma de lixiviación y el cambio en la calidad del suelo (carbono) a lo largo del tiempo. Otro tipo de uso común es como un límite superior para un modelo de agua subterránea.

La entrada a Daisy es mediante archivos de texto de datos meteorológicos diarios u horarios (al menos precipitación, radiación global y temperatura, se puede usar mucho más si está disponible), información de manejo (siembra/ cosecha, operaciones de labranza, así como datos y cantidades de aplicación de riego, fertilizantes y pesticidas) y finalmente la calidad del suelo (textura, contenido de humus). La escala de tiempo va de flujos por horas a cambios en las reservas de carbono del suelo durante siglos.

La salida también es archivo de texto, con la excepción de mensajes de progreso simple durante la simulación. El código puede tener acceso desde una utilidad de Open MI. El modelo de transporte Daisy unidimensional predeterminado asume campos homogéneos, sin transporte horizontal significativo. Se incluye un modelo de transporte bidimensional opcional y se ha utilizado para simular cultivos en hileras y tuberías de drenaje. Para modelar áreas más grandes, Daisy debe combinarse con un sistema GIS. Daisy es desarrollada por miembros de la investigación agrohydrology en la selección de química y física ambiental en el departamento de plantas y ciencias ambientales de la facultad de la universidad de Copenhague. El principal científico responsable es Soren Hansen. (Hansen., 2017)

5.1.1 Funcionamiento del Software Daisy. El modelo DAISY contiene dos fases: la primera fase es el análisis de entrada se refiere al componente analizador; la segunda fase es el análisis de salida representa la simulación en sí. El modelo presenta estados físicos y componentes de columna como variables de manejo entre las que se encuentran clima, componentes de tiempo y componente de registro separado, cuya función es escribir las partes seleccionadas en forma de archivos para

su descripción. (Abrahamsen y Hansen, 2000). En el software DAISY el componente analizador interpreta el texto de acuerdo a una sintaxis abstracta externa dentro del árbol de un análisis interno.

5.1.2 Variables de Manejo del Software Daisy. Entre las variables de manejo del software DAISY el clima juega un papel importante para la aplicación del modelo en cual se deben tener bastantes datos relevantes de temperatura del aire las precipitaciones de la zona. Estos datos son leídos mediante un archivo el cual acumula y saca todos los valores promedio. Además, se tiene la variable manejo que se la denomina acción y definimos en el software acción como la construcción de acciones, el manejo lo dividimos en dos categorías como las acciones de primitivas un ejemplo seria el arado y la cosecha. Las acciones compuestas que generan lenguajes primitivos ejemplo progn, esta acción combina una infinidad de acciones e if, que hace que un determinado lenguaje primitivo genere una condición dada. En el cual la condición es otro tipo de componente utilizado cuando se especifican acciones y registros.

La salida está definida por una serie de componentes de registros que se deriva en 2 tipos el primero es el cuadro de registro y los valores de variables donde se promedian y acumulan en algún momento de la simulación o cuando la misma haya culminado. La segunda el punto de chequeo se desarrolla las variables de un archivo que el usuario especifica en algún punto de simulación. DAISY incluye dentro de su estructura modelos especializados de procesos específicos en la simulación. El software es organizado alrededor de dichos modelos y cada uno es un componente reemplazable.

DAISY es básicamente un modelo unidimensional cada objeto de columna representa una línea vertical en el campo, desde el bioclima en la parte superior hasta el agua subterránea hacia el interior. La función principal del componente bioclima es distribuir la entrada meteorológica que recibe el modelo climático, el componente cultivo incide en el bioclima de acuerdo a la distribución vertical del dosel y a cambio recibe la evapotranspiración potencial y radiación. El componente suelo sirve para dos propósitos: las propiedades físicas y químicas del suelo tales como contenido de arcilla y conductividad hidráulica.

El agua y el calor hace referencia de su almacenamiento y transporte mientras el componente de calor del suelo mantiene un registro de la temperatura por cada horizonte en función de sus propiedades térmicas con lo que implementa un flujo de calor. El contenido de NH_4 y NO_3 en el

suelo es evaluado por medio de dos componentes separados, que permiten al usuario especificar un modelo de transporte mediante la selección de un componente anidado. Los modelos disponibles son convección- dispersión, otros conceptos o variables que se deben tener en cuenta son nitrificación, desnitrificación materia orgánica, mineralización, agua subterránea y superficial. (Hansen & Per, 2012)

DAISY realiza un seguimiento del agua, nitrógeno, carbono y pesticidas en la zona bioactiva cerca de la superficie del suelo (aproximadamente la parte superior del dosel hasta el fondo de la zona de raíces histórica). Algunos procesos claves son: flujo de agua en el suelo, descrito con la ecuación de Richards, en una o dos dimensiones. Flujo de soluto en el suelo, descrito con la ecuación de convección-dispersión, opcionalmente dividido en dos dominios, rápido (móvil) y lento (inmóvil) los biopores pueden actuar como tercer dominio, proporcionando flujo de aguas casi instantáneo y transporte de solutos, la rotación de materia orgánica del suelo se basa en múltiples reservas con tasas de rotación, afectadas por el calor, la humedad y el contenido de arcilla del suelo. Tránsito de la atmósfera de la vegetación de suelo (SVAT) de agua y energía basada en hojas iluminadas por el sol y sombreadas, y una descripción detallada del microclima del dosel, un modelo de cultivo donde la materia seca se divide en hojas, tallos, órganos de almacenamiento y raíces.

La fotosíntesis puede estar estrechamente relacionada con el modelo SVAT y limitada por el agua y el nitrógeno del suelo. La absorción de agua se basa en la demanda, el potencial hídrico de la raíz y el flujo de Darcy. La absorción de nutrientes se basa tanto en la convección como en la difusión. La mayoría de los procesos anteriores se pueden describir con diferentes sub modelos de diversa complejidad según los datos disponibles y los requisitos del usuario. Daisy requiere como mínimo información de textura para el perfil del suelo, datos meteorológicos diarios e información de gestión diaria que debe proporcionar el usuario. Si se proporcionan datos más detallados, se pueden usar modelos más precisos de simulación el paso de tiempo interno más grande utilizado en el modelo es una hora. La salida puede tener la misma granularidad. (Hansen & Per, 2012)

5.1.3 Requisitos de Datos para el Modelo Daisy. El programa requiere datos sobre el clima, el cultivo, la gestión agrícola y el suelo con el fin de ejecutar una simulación. De alguna manera, Daisy puede ajustarse a los datos disponibles, ya sea utilizando modelos más simples internamente cuando hay menos datos disponibles, o tratando de sintetizar los datos faltantes de lo que está

disponible. A continuación, se describen los requisitos mínimos de datos para ejecutar Daisy en absoluto, los datos que recomendamos para resultados de simulación razonables, y finalmente enumeraremos algunos de los datos opcionales que puede alimentar al modelo para una simulación aún más detallada. (Hansen., 2017)

En general, el nivel de exigencia de los datos depende de la finalidad de la simulación y el nivel de detalle requerido s en el modelo resultados. Antes de comenzar con el modelado en sí, es útil tratar de conceptualizar la comprensión del problema en cuestión. Con su propio conocimiento del problema que se está estudiando, ¿cuál es el nivel de detalle requerido?, ¿cuáles son los principales factores de importancia? y ¿cuáles son los límites del sistema que se está analizando? (Hansen & Per, 2012)

Generalmente, las mediciones locales a mejorar la descripción del modelo de la zona estudiada. Para algunos parámetros de entrada, como la precipitación, mediciones locales son particularmente importante, porque la variabilidad local es grande y la influencia sobre los resultados de la simulación es significativo. (Hansen., 2017)

5.1.4 Requerimiento de los Datos del Clima. Daisy necesitará valores diarios para el siguiente punto para todo el período de simulación, incluyendo el período de inicialización, temperatura media del aire, precipitación (datos locales importantes) y radiación global. Esto permitirá que el modelo use la ecuación de Makking o la ecuación de Hargreaves para la estimación de la evapotranspiración y la radiación global regirá la fotosíntesis en el modelo.

Así mismo requerirá información sobre la estación meteorológica en sí, en particular nombre (para referencia), elevación de la estación meteorológica (utilizada para algunos de los cálculos de radiación/energía), lugar: longitud y latitud (utilizado para algunos de los cálculos de radiación/energía), información sobre si los datos se graban en el campo o en una superficie de referencia (puede afectar la evaporación de referencia), la altura de la pantalla (influye en el cálculo de la evaporación Penman Monteith), deposición húmeda y seca de NH_4 y NO_3 (generalmente estimado según la base de datos nacional de información), temperatura media para la ubicación (se puede derivar sobre la base de registros a largo plazo de la zona y se utiliza para calcular la condición límite inferior para el cálculo de la temperatura del suelo), la amplitud promedio de la

variación de temperatura durante el año (se puede derivar como anteriormente) y el día promedio en el que se alcanza la temperatura máxima (se puede derivar como arriba). (Hansen., 2017)

5.1.5 Datos Perdidos. Todos los datos anteriores se deben suministrar al programa para que se ejecute la simulación. Se tiene que utilizar bien los datos disponibles, lo que significa que los datos de la estación climática más cercana disponible. En algunos casos, se tendría que complementar las grabaciones locales con los registros regionales, la precipitación es la más importante para obtener los números locales.

La textura es muy importante para el transporte por agua, si no se puede medirla se debe hacer una estimación de esta. El horizonte B (y, a veces el horizonte C) pueden de hecho ser incluso más importante que el horizonte A y más es difícil obtener información. A veces los mapas regionales están disponibles o las mediciones de cerca sitios. Un buen número para el contenido de humus del horizonte superior es esencial para un nitrógeno razonable. La profundidad máxima de la raíz generalmente se puede estimar a partir del conocimiento de perfiles de suelo similares. (Hansen., 2017)

5.1.6 Predicciones. Si usa Daisy para hacer predicciones, no tendrá ningún dato climático. En ese caso, se recomienda que se ejecute la simulación con datos antiguos de una cantidad de años diferentes. Asegurándose de permutar los años, ya que los resultados son muy sensibles a las variaciones no solo en el clima, sino en la secuencia en que aparecen los años. No se utiliza los datos del tiempo “promedio”, como que tiende a producir más homogénea lluvia y por tanto los rendimientos más altos y menos flujo de macroporos omitiendo los eventos extremos dentro del eather w específica año, así como la variación anual. Por la misma razón, asegurándose que los años que usa contienen algunos ejemplos de clima extremo, no solo el clima de años "normales". (Hansen., 2017)

Daisy le permite al administrador "ser inteligente" sobre el estado de la simulación, por lo que en lugar de usar fechas en que puede cosechar cuando el cultivo está maduro e irrigar cuando el cultivo necesita agua. Puedes usar estas técnicas para implementar su plan de gestión en la simulación. Como se insinuó anteriormente, esto también es útil cuando no tienes información sobre las fechas exactas. Esto es particularmente útil cuando analiza grandes áreas, donde no tiene información de un campo individual. De la información estadística sobre tipos de cultivos

preferidos y el conocimiento sobre la praxis común en el área, puede crear representantes rotaciones de cultivos y ejecutar estos en diversas condiciones climáticas, y en los tipos de suelos encontrados en el área.

5.1.7 Datos Clima. Datos para la evaporación de referencia pueden ser suministrados directamente en el archivo de tiempo. El suministro de valores por hora o más fino en el archivo climático permitirá una simulación mucho más detallada. Si además proporciona información sobre presión de vapor, humedad relativa y velocidad del viento, Daisy podrá usar la ecuación de Penman-Monteith para los cálculos de evaporación y seleccionar un modelo de bioclima más avanzado. (Hansen., 2017)

5.1.8 Datos Sobre el Suelo. En el software DAISY la columna es una descripción dimensional de un sistema agrícola, con el clima en la parte superior y el agua subterránea en la parte inferior. Una columna de suelo consiste en horizontes de suelo. Un horizonte del suelo se define como una capa vertical del suelo con propiedades químicas y físicas similares. Si se hace un corte vertical en el suelo, por lo general hay una clara distinción visual entre los horizontes. Esta división debe determinar el número de horizontes a definir, su orden y su profundidad. (Hansen., 2017)

5.1.9 El Nivel Mínimo. Daisy necesitará la siguiente información sobre el suelo. La textura del suelo, es decir, las fracciones de arcilla, limo y arena del suelo. También información para todos los horizontes en el perfil, no solo en el horizonte superior. El contenido de humus y / N-relación de C en cada horizonte. La profundidad máxima de la raíz del suelo. (Parámetro del suelo, no cultivo-dependiente). La ubicación del agua subterránea y si el suelo está drenado. Existen las siguientes posibilidades: el suelo está agotado. Entonces se tiene que conocer la posición de los drenajes (profundidad y distancia entre los drenajes). En este caso la información sobre el período de drenaje o una serie de tiempo de flujo de drenaje, preferiblemente ambos, es útil. Esto se utiliza para Calibre la información de drenaje.

El agua subterránea se encuentra debajo de 4 metros; si es así, no necesitaríamos saber más. El agua subterránea se encuentra a más de 4 metros; si es así, se debe saber dónde se encuentra y mejor de una serie temporal totalidad de la capa freática. Si esto es todo lo que está disponible, Daisy calculará las funciones hidráulicas basadas en una función de pedotransferencia (Cosby). Si, además, se conoce la densidad aparente, se utiliza el pedotransferencia-función Hypres. Para

muchos tipos de simulaciones, tenemos una buena experiencia con el uso de datos Hypres-generated para las funciones hidráulicas. (Hansen., 2017)

Daisy necesitará saber la fecha de las siguientes operaciones de administración: fertilización: además de la fecha, se debe saber la cantidad y el tipo de fertilizante utilizado, y si se incorpora o no. Irrigación: también se necesita conocer la cantidad de agua aplicada, cómo se aplicó (superficie, techo o subsuelo), así como la cantidad de fertilizante mineral en el agua, si corresponde. Operaciones de labranza: se necesita saber el tipo de operación, por ejemplo, arar o preparar el lecho de siembra. Siembra: se necesita saber el tipo de cultivo y el cultivo seleccionado debe existir en la biblioteca de cultivos de la margarita con el nivel requerido de parametrización. Cosecha: se necesita saber si los residuos se eliminan o quedan en el campo.

Fertilización: si está interesado en la cosecha de nitrógeno o la lixiviación, es esencial obtener la información correcta. Lo mismo es cierto para el rendimiento y, en menor grado, para el equilibrio hídrico si el crecimiento del cultivo es limitado en nitrógeno. Para los tipos de fertilizantes orgánicos, utilice el valor más próximo de los tipos de abonos ya definidos desde el archivo " fertilizer.dai. Irrigación: hacerlo bien o use "condiciones" para que Daisy seleccionar el momento adecuado para el riego. Las operaciones de labranza: Utilice el valor más cercano de las operaciones de labranza predefinidos desde el archivo 'tillage.dai'. Siembra: Daisy necesita mucha información sobre el cultivo, esta información se ha recopilado para varios cultivos, que se pueden encontrar en el archivo 'crops.dai'. Si el cultivo real no se encuentra allí, puede tratar de sustituirlo con otro cultivo con un ciclo de desarrollo similar y ceder, si existe dicho cultivo. Cosecha: se utiliza la mejor estimación del tiempo de cosecha, altura de corte, y el destino de los residuos.

A nivel mínimo, los archivos de parámetros de cultivos existentes se utilizan sin calibración. El modelo funcionará con la información de la biblioteca Daisy en el que se cultiva cultivo. Es evidente que una simulación no calibrada no considera la variedad local cultivada. Datos de cultivo adicionales. La parametrización del cultivo se puede ajustar a las condiciones locales de varias maneras, dependiendo del propósito de la simulación. Producir información: Para algunas simulaciones, los datos estadísticos de rendimiento pueden ser útiles, pero no describen las condiciones en un campo determinado. La información local de rendimiento puede ser útil cuando se simula la lixiviación, ya que incluye los efectos de otros factores de enclavamiento.

En general, la información de rendimiento se puede utilizar ya sea para la calibración o validación. Desarrollo de la biomasa en el tiempo: Una simple mejora de la simulación se puede obtener mediante la medición del desarrollo de la biomasa en el tiempo, y tomando nota de las etapas de crecimiento más importantes. Esto se puede utilizar para la calibración del módulo de cultivo.

Valores: se puede utilizar directamente como entrada a Daisy, para la calibración y la asimilación en Daisy. También se puede usar para verificar los cálculos del modelo. Profundidad de las raíces de la planta: Potencial profundidad de las raíces de la cosecha se da como parámetro en el archivo de cultivos. Si hay mejor conocimiento local disponible, esto se puede incluir en la simulación. Para la calibración más detallada de los módulos de cultivo o la creación de nuevos módulos de cultivos, la información aún más detallada en forma de experimentos de campo con varios niveles de riego y fertilización puede ser requerida. Las medidas interesantes normalmente serían. Contenido de materia seca de las partes individuales de los cultivos: (hojas, tallo, órgano de almacenamiento, y si son ambiciosos, raíces) a intervalos regulares durante la temporada de crecimiento.

El medido puede soportar el ejercicio de calibración. Contenido de N de las partes individuales de los cultivos: (hojas, tallo, órgano de almacenamiento, y si son ambiciosos, raíces) a intervalos regulares durante la temporada de crecimiento. LAI - valores: a intervalos regulares a lo largo de la temporada de crecimiento. La altura del cultivo se utiliza en algunas descripciones de procesos, junto con la cobertura del dosel. Esto también podría medirse a intervalos regulares. Puede proporcionar información sobre la aplicación de pesticidas. Los pesticidas no afectan el resto de modelo (ya que las plagas no son parte del modelo) pero Daisy simulará el destino de los pesticidas.

5.1.10. Datos Adicionales de Suelo. Un problema clave en el modelado del sistema suelo/planta es la inicialización de las piscinas orgánicas en el suelo. Daisy contiene piscinas que describen rotación lenta y rápida de la materia orgánica añadido, los microbios del suelo y la materia orgánica del suelo. El tamaño de las piscinas no se puede medir por lo que es necesario estimar su tamaño. El contenido total de carbono y nitrógeno orgánico es considerado el “tamaño de la agrupación” total. La densidad aparente es una buena mejora de las propiedades hidráulicas predichos y algunos de los procesos de sorción.

Una estimación para la entrada de carbono promedio anual al suelo en las décadas antes de la simulación período. La entrada de carbono anual es raramente disponibles; puedes usar números de una tabla predefinida de las aportaciones de diversos tipos de explotación si alguien ha creado una tabla de este tipo para su área, o mejor sin embargo, ejecute una simulación con una rotación histórica de cultivos "típica" para permitir que Daisy calcule la entrada. Esta información es importante en relación con la inicialización de las piscinas orgánicas en el suelo. Si es posible, se debe medir el rendimiento de nitrógeno de una parcela con un cultivo no fertilizado. Esto proporciona un indicador de la mineralización del suelo y puede usarse para la calibración del modelo (descrito en el Tutorial de Daisy). (Hansen., 2017)

Así mismo se debe medir la relación C/N para el humus en al menos el horizonte Ap. La relación C/N influye en la distribución entre grupos orgánicos y por lo tanto la mineralización. Los suelos con a/N de alto valor C es probable que contengan una fracción de C orgánico y N que debe ser caracterizado como "Som3", que es inerte. Es posible mejorar las simulaciones mediante la medición de las propiedades hidráulicas del suelo.

Esto se puede hacer en diferentes niveles de detalle: medición de puntos (seleccionados) en una curva de retención en diferente aspiración (f es decir capacidad ld, w punto ilting, tal vez otros puntos y saturation basado en la medición de la densidad a granel), que puede usarse para calibrar los parámetros para las funciones hidráulicas más comunes (Brooks y Corey, Campbell, van Genuchten) o, si hay suficientes puntos, los valores se pueden usar directamente. Medida de conductividad hidráulica saturada, medición de la conductividad hidráulica no saturada a diferentes succiones, donde se pueden ajustar funciones hidráulicas comunes (Burdine, Mualem), o se puede usar directamente. La información adicional sobre el volcamiento de carbono mejora las simulaciones de manera considerable. Si tiene pocas mediciones de las propiedades hidráulicas, la experiencia es que no puede ofrecer mejores resultados. Esto se debe a la alta variabilidad espacial de estos parámetros.

El propósito de las simulaciones es importante en este caso si se está buscando muy detallada efectos de la labranza en el transporte de solutos estos parámetros tienen que ser supervisados de cerca. En estudios detallados la información anterior se puede complementar con mediciones de: contenido de humedad en el suelo a través del tiempo y en diferentes profundidades, flujo de

drenaje contenido de nitratos en la humedad del suelo (muestras de suelo) concentración de nitrato in drenar flujo. Tal información puede ser utilizada para la calibración. (Hansen., 2017)

5.1.11 Gestión de la Información Adicional. El balance de carbono y nitrógeno del suelo está influenciado por lo que pasó antes en la misma parcela. Recomendamos que las simulaciones comienzan con un periodo cálido “cálido de al menos 5 años antes de que el período de interés. No necesita fechas exactas para las operaciones de gestión para los cálidos períodos ascendentes (aunque tenerlos ayuda), pero puede usar las técnicas descritas en la sección 3.3. Si no se dispone de datos meteorológicos para este período, es posible que tenga que volver a utilizar los datos que tenemos, como se describe en la sección 1.3. Esto puede no ser correcto, pero aún puede proporcionar mejores condiciones de inicio para su simulación que se ejecuta sin un período de inicialización.

Fertilizantes: para la fertilización, debe especificar la cantidad de carbono, nitrógeno y de amonio directamente, en vez que confiar en los valores de fertilizer.dai Fertilización: Puede examinar el contenido exacto de abono orgánico, que tienden a variar mucho entre las granjas, y se puede estimar la tasa de rotación con los experimentos de laboratorio. Las operaciones de labranza: Puede adaptarse a las operaciones de labranza a la maquinaria utilizada en la granja real, y asegúrese de que por ejemplo, la profundidad de arado es correcto. Los implementos de labranza se definen por la profundidad a la que se mezcla el suelo y la fracción de materia orgánica en la superficie que se incorpora al suelo mediante esta operación. Cosecha: Medir o estimación de lo grande que una fracción de las diversas partes de los cultivos se dejan en el campo, en lugar de asumir todo o nada.

5.1.12. Otros Datos para Fines de Calibración o Validación. Este grupo de datos es bastante específico para el tipo de estudios realizados. Particularmente para los estudios de proceso, se deben recopilar valores muy específicos y detallados para los parámetros seleccionados. Sin embargo, no es raro que las siguientes medidas se lleven a cabo: El contenido de humedad en el suelo en una serie de profundidades se mide utilizando, por ejemplo, TDR Drain flow (serie de tiempo) Concentraciones de nitrato o pesticida en el flujo de drenaje (serie de tiempo) Concentración de nitrato (y pesticida) en agua extraída por ventosas. Debe observarse que existe un alto grado de variabilidad en el campo en tales mediciones. Este tipo de medición no es adecuada para todos los pesticidas (varias mediciones a lo largo del tiempo). Concentración de nitrato o

plaguicida en aguas subterráneas poco profundas (serie temporal). En relación con los estudios de plaguicidas, la concentración de partículas en el agua de drenaje puede ser de interés.

5.2 Experimento

Un experimento es el proceso mediante el cual se extrae información sobre un sistema a través de la manipulación de los datos de entrada. La experimentación es probable el concepto más importante sobre sistema porque es a través de un experimento que se puede lograr un mejor entendimiento sobre el sistema. La experimentación implica la utilización de las dos propiedades más importantes de los sistemas: el control y la observabilidad. La realización de un experimento implica la aplicación de una serie de condiciones externas a las ENTRADAS y observar la respuesta del sistema a través del registro de las variables de SALIDA. (Sierra Ramirez , 2011)

5.3 Modelo

Ramírez (2011), define que un modelo es la representación de un sistema, es una aproximación a un sistema del cual, a través de un experimento, se puede obtener respuestas sobre el sistema. Un modelo no necesariamente implica la utilización de un programa de computador, puede ser un pedazo de hardware o simplemente el entendimiento de cómo trabaja un sistema; los modelos a menudo se codifican en un programa de computador.

También se puede establecer que: un modelo es un bosquejo que representa un conjunto real con cierto grado de precisión y en la forma más completa posible, pero sin pretender aportar una réplica de lo que existe en la realidad. Los modelos son muy útiles para describir, explicar o comprender mejor la realidad, cuando es imposible trabajar directamente en la realidad en sí. (Wadsworth, 2008)

Otro tipo de definición de modelos corresponde al análisis de sistemas con el objetivo de representar su comportamiento a través de una ecuación o conjunto de ecuaciones y algoritmos lógicos codificados en lenguaje informático.

5.3.1 El Uso de Modelos de Simulación en la Agricultura. Actualmente los modelos se emplean en diferentes campos en la agricultura modelación de plagas y enfermedades necesidades hídricas de los cultivos según (Savary y Araya, 2012) también en el manejo de fertilización y en el

manejo de suelos en el uso de rotación de cultivos uno de los campos en los que la modelación está siendo empleada con mayor frecuencia en los últimos años es el estudio del impacto del cambio climático en la producción agrícola, los modelos de simulación como mencionamos son adecuados para medir los impactos ambientales asociados al manejo del nitrógeno en los cultivos y poder predecirlos correctamente, el lixiviado es, de entre las pérdidas de nitrógeno el proceso más frecuente calculado con los modelos, reflejando la preocupación sobre la contaminación de las aguas por nitrato desde la década de los años 80.

Sin embargo, las pérdidas gaseosas que se producen por desnitrificación y volatilización del nitrógeno en suelos agrícolas, son una preocupación reciente y hasta ahora se les había prestado menos atención. El mejor conocimiento de los procesos incluidos en el proceso del nitrógeno que afectan a las pérdidas de nitrógeno en los cultivos ha ayudado al desarrollo de una serie de buenas prácticas agrarias. Muchos trabajos versan sobre la evaluación de estas prácticas en distintas zonas y cultivos desde el punto de vista agronómico y ambiental, la aplicación de modelos de simulación del nitrógeno en los cultivos, asociadas a ensayos de campo, pueden ayudar a identificar la contribución de BPAS al aumento del uso eficiente del nitrógeno. El uso de modelos como método de ayuda en la toma de decisiones de la fertilización nitrogenada también ha sido objeto de algunos trabajos una revisión de cultivos señala la importancia de los modelos agrícolas.

Según Dabney (2010), se realizó una revisión sobre el empleo de cultivos cubierta en el manejo del nitrógeno y detallan el enfoque de varios modelos de simulación en el cálculo de la reducción de nitrógeno lixiviado producido por estos cultivos. En la aplicación de cualquier modelo siempre es necesario la elección del modelo en base a los objetivos marcados y necesidades del estudio.

5.4 Simulación

La simulación es a un modelo lo que un experimento es a un sistema. En términos prácticos una simulación es un experimento realizado con un modelo. Nuevamente, se enfatiza en que la simulación no necesariamente implica la utilización de un programa de computador. Lo que ocurre es que normalmente los fenómenos naturales se representan por ecuaciones matemáticas cuya mejor manera de resolverlas es elaborando un programa de computador.

5.5 Calidad de Agua

Los cuerpos de agua se pueden caracterizar analizando básicamente tres componentes: su hidrología, sus características fisicoquímicas y la parte biológica. Para llevar a cabo un análisis y evaluación completa de la calidad del agua.

5.6 Distribución del Agua en la Tierra

El agua es el constituyente inorgánico más abundante en la materia viva: en el hombre, más de 60% de su peso está constituido por agua, y en ciertos animales acuáticos tal porcentaje asciende al 98%. El agua es fundamental para el mantenimiento de la vida, razón por la cual es importante saber cómo se distribuye en el planeta, y como circula de un medio a otro. Los $1,36 \times 10^{18} \text{ m}^3$ disponible existentes en la tierra se distribuyen de la siguiente forma:

Se puede observar claramente que, del agua disponible, únicamente 0,85 puede ser utilizada más fácilmente para abastecimiento público. De esta pequeña fracción de 0,8%, solo 3% se presenta en la forma de agua superficial, de fácil extracción. Tales valores resaltan la gran importancia de preservar los recursos hídricos en la tierra y evitar la contaminación de la pequeña fracción de más fácil acceso.

Agua de mar: 97,0%

Glaciares: 2,2%

Agua dulce: 0,8% agua subterránea: 97%

Agua superficial: 3%

Total: 100% (Von Esperling & Sanchez Ortiz, 2005)

5.6.1 Ríos. Estos cuerpos de agua, comúnmente denominados corrientes, se caracterizan porque fluyen unidireccionalmente con velocidades promedio relativamente altas que varían entre 0,1 y 1 m/s. el flujo en los ríos es altamente variable y depende de las condiciones climáticas y de las características del área de drenaje. En general, los ríos son cuerpos de agua los cuales pueden

considerarse permanentemente mezclados, y en la mayoría de ellos, la calidad del agua es importante en un sentido de flujo.

5.6.2 Lagos. En estos sistemas acuáticos, la velocidad promedio es relativamente baja: varía entre 0,01 y 0,001 m/s (valores en la superficie) este hecho hace que el agua permanezca en el sistema desde unos pocos días hasta varios años. Con respecto a la calidad del agua, esta se comporta o está gobernada de acuerdo con el estado trófico y con los periodos de estratificación.

5.6.3 Aguas Subterráneas. En los acuíferos el régimen de flujo es relativamente estable en términos de velocidad y dirección. Las velocidades promedio pueden variar entre 10^{-10} y 10^{-3} m/s y son gobernadas por la porosidad y la permeabilidad del estrato. La dinámica del agua en los acuíferos es bastante complicada.

Como se puede observar, la variedad de regímenes hidráulicos que se presentan en los distintos cuerpos de agua hace que estén caracterizados por su tamaño y las condiciones climáticas de la cuenca. El factor que caracteriza los ríos es la variabilidad del caudal. En los lagos y embalses lo más importante es el tiempo de residencia (estado trófico) y su régimen térmico, mientras que en las aguas subterráneas importa altamente el grado de saturación del suelo.

5.6.4 Recursos Hídricos en Colombia. Debido a su ubicación geográfica y a sus condiciones de relieve, Colombia tiene una precipitación media anual de 3.000 mm, que representa una riqueza importante de recursos hídricos, cuando es comparada con el promedio mundial de precipitación anual, equivalente a 900 mm y con el promedio anual de Suramérica, del orden de los 1.600 mm. En términos del caudal específico de escorrentía superficial Colombia presenta un caudal de 58 l/s/km², tres veces mayor que el promedio sudamericano (21 l/s/km²) y seis veces mayor que la oferta hídrica específica promedio a nivel mundial (10 l/s/km²). (Ojeda B., 2000)

Según Ojeda (2000), Existe un régimen de lluvias muy variado, debido a las características de la circulación atmosférica y a las diferencias en el contenido de humedad: Mientras que en la Península de la Guajira se registran los promedios anuales más bajos, cercanos a 300 mm/año, en algunos lugares de la región del Pacífico los valores de precipitación son los más altos del país y del mundo (mayor a 9.000 mm/año). Si se relaciona el promedio anual de lluvias con la superficie continental del país, se tiene un volumen anual de precipitación de 3.425 km³, equivalente al 3%

del volumen de precipitación anual en el mundo y al 12% en el continente sudamericano. La característica de la precipitación en Colombia consiste en que el 88% del territorio registra lluvias anuales superiores a 2.000 mm, con un promedio anual cercano a los 3.000 mm.

También Ojeda (2000) afirma que el volumen de precipitación anual, un 61% se convierte en escorrentía superficial, generando un caudal medio de 66.344 m³/seg., equivalente a un volumen anual de 2.113 km³ que fluye por las cinco vertientes hidrográficas que caracterizan el territorio nacional continental, distribuida así: Amazonia: 22.185 m³/s, Orinoquia: 21.399 m³/s, Caribe: 15.430 m³/s, Pacífico: 6.903 m³ s, Catatumbo: 427 m³/s.

5.7 Uso Deseable del Agua

El uso deseable del agua es, por supuesto, materia de considerable discusión e interacción en el ambiente sociopolítico, y su determinación depende de la habilidad económica de una región dada para mantener y mejorar su calidad del agua. Los principales usos deseables del agua, entre otros, son abastecimiento de agua municipal e industrial, recreación (navegación, natación, y belleza del paisaje) pesca comercial y deportiva y para el mantenimiento del balance ecológico. (Sierra Ramirez C. A., 2011)

5.8 Impurezas Encontradas en el Agua

Los diversos componentes presentes en el agua, y que alteren su grado de pureza, pueden expresarse, de una manera más amplia y simplificada, en términos de sus características físicas químicas, y biológicas. Estas características del agua pueden expresarse como: características físicas, características químicas, características biológicas. (Sanchez Ortiz, 2012)

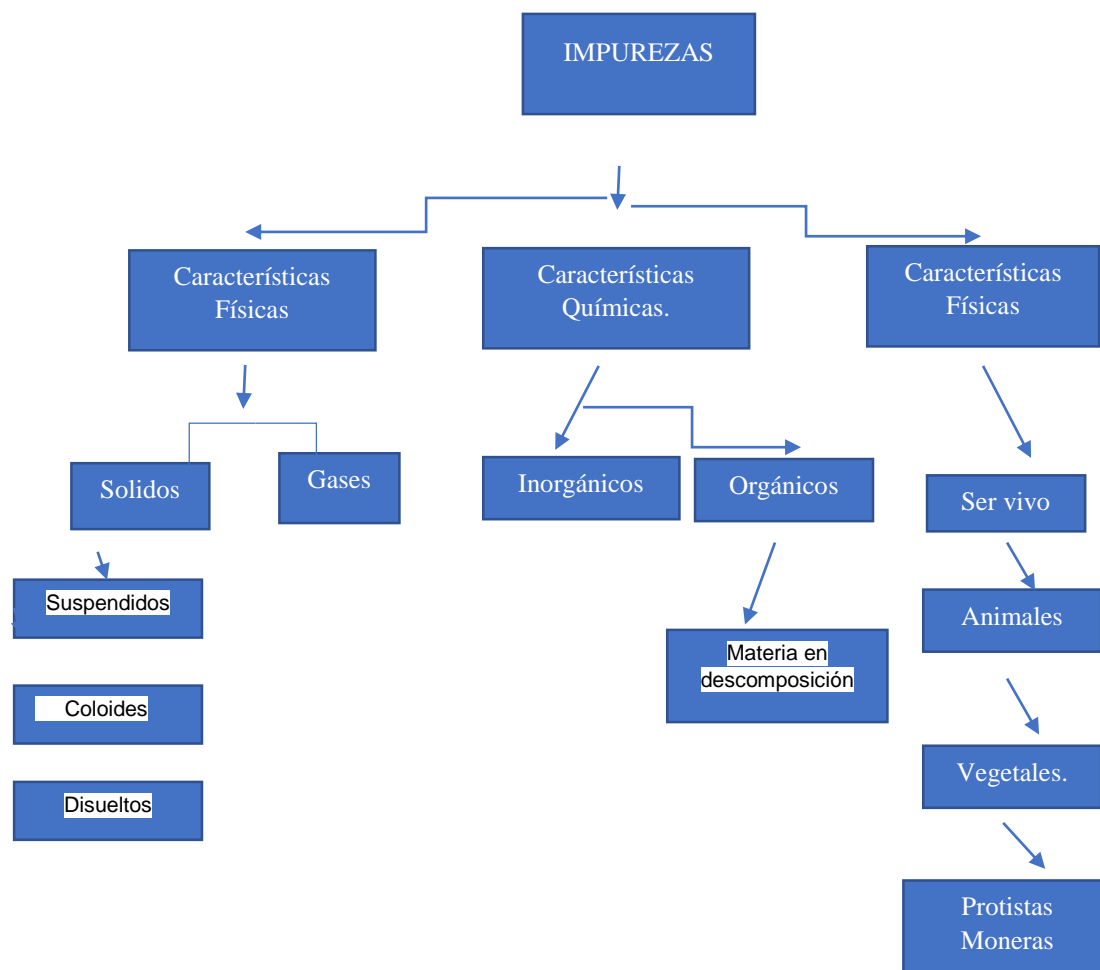


Figura 1. Impurezas del agua, adaptado por (Barnes et al 1981).

5.9 Lixiviación Nitrogenada

Los nitratos son la forma de nitrógeno (N) más estable en el suelo, y generalmente provienen de fertilizantes nitrogenados o mineralización de materia orgánica. Se caracterizan por su alta solubilidad y por lo tanto si hay drenaje de agua, pueden ser lixiviados generando contaminación acuífera. Si los niveles de nitratos son mayores de 45 mg/L y el agua se utiliza como un suministro humano, existe una amenaza para la salud humana. Además, los acuíferos con N disuelto podrían descargarse en aguas superficiales, aumentando el riesgo de eutrofización. (Portocarrero, Acreche, & Sopena, 2013)

El nitrógeno es un elemento nutritivo muy importante en la agricultura. En los suelos se produce en formas orgánicas e inorgánicas. El N inorgánico se produce principalmente como nitrato en los

suelos cultivables. El nitrato está sujeto a diversos procesos tales como absorción de plantas, lixiviación de suelos entre otros. La lixiviación de los nitratos de los suelos es un fenómeno mundial.(Prakasa Rao & Puttanna, 2000)

La lixiviación de nitrógeno según Pérez y Sánchez (2003), está directamente relacionada con los procesos de drenaje profundo y depende de factores ambientales locales como las características físicas de la zona vadosa, el tipo de uso de la tierra y el clima.(Arauzo & Valladolid)

El Nitrógeno es un elemento diatómico y se encuentra en estado gaseoso a temperatura y presión ordinaria, comprende el 78% de la atmósfera terrestre y en su forma elemental es relativamente inerte. (Pacheco, Pat, & Cabrera, 2002)

Según Pacheco (Citado por Sawyer y Mc. Carty, 1978) La química del Nitrógeno es compleja debido a los muchos estados de oxidación que puede asumir y al hecho de que ese cambio en el estado de oxidación puede ser llevado a cabo por organismos vivos. Este cambio en el estado de oxidación producido por las bacterias, puede ser positivo o negativo, dependiendo de las condiciones aeróbicas o anaeróbicas prevalecientes.

Las relaciones que existen entre las formas de los compuestos del Nitrógeno y los cambios que ocurren en la naturaleza, se ilustran en la figura 2.

5.10 Contaminación Difusa

Descargas de residuos provenientes de actividades humanas y naturales que, de alguna manera, interfieren con el uso deseable del agua.

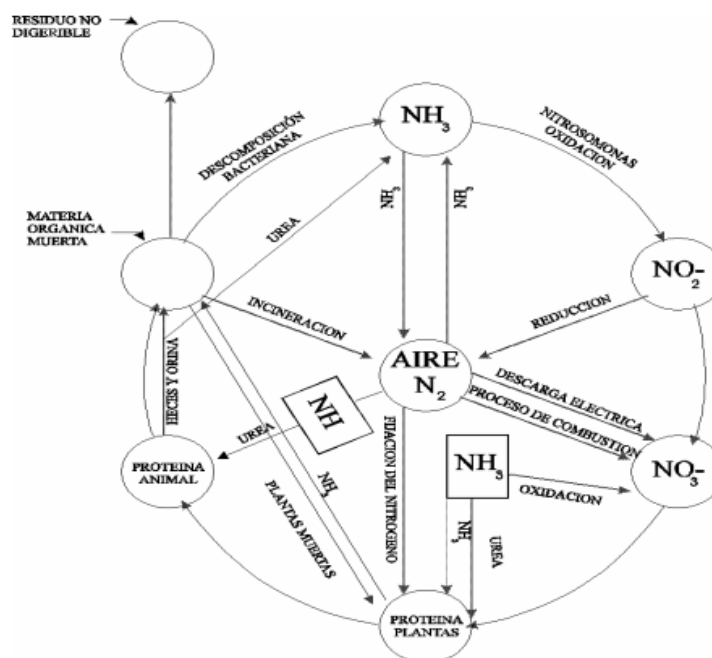


Figura 2. Ciclo del nitrógeno.
Fuente: Sawyer y Mc. Carty, 1978.

El contaminante inorgánico más común identificado en agua subterránea es el Nitrógeno disuelto en la forma de nitrato, debido a que es la forma más estable en que puede encontrarse el Nitrógeno y su presencia en concentraciones no deseables es potencialmente peligrosa en los sistemas acuíferos según Pacheco, (citado por Freze y Cherry, 1979).

Los suelos de bajo pH son más eficientes en el proceso de adsorción del ion amonio que aquellos de pH elevado y los suelos con alto contenido orgánico son menos eficientes que los suelos minerales con una capacidad similar de intercambio catiónico. El nitrógeno orgánico no ha recibido mucha atención como una fuente potencial de contaminación, pero la presencia de éste debe de esperarse en el agua subterránea ya que puede provenir de rellenos sanitarios, desechos de ganadería y plantas de tratamiento de aguas residuales.

El nitrógeno puede moverse a través del medio poroso por algunos métodos. Estos métodos pueden operar independientemente o en conjunto. Los compuestos de nitrógeno pueden moverse a través del suelo como gases o como solutos en soluciones acuosas. El nitrógeno en la materia orgánica insoluble o en forma mineral puede ser transportado a través del perfil del suelo por organismos (a través de excreción o transporte mecánico) o por suspensión de partículas en suelo y agua. La distancia, dirección y cantidad de nitrógeno transportados varía con el tiempo y con las propiedades químicas, físicas y biológicas del suelo. (Pacheco et al., 2002)

5.11 Efectos de los Nitratos en los Seres Vivos

Segun pacheco 2002, en el hombre, la metahemoglobinemia es el principal efecto tóxico de la ingestión de nitratos y nitritos. La metahemoglobinemia es causada por nitritos, que son los productos de reducción de los nitratos. La reducción, por lo común, se realiza mediante acción microbiana en el medio ambiente o en el organismo. En consecuencia, los riesgos de salud de la exposición a los nitratos están vinculados no sólo con su concentración en el agua y los alimentos, sino también con la presencia o ausencia de condiciones favorables a su reducción a nitritos.

6. Metodología

Esta monografía se desarrolló y fundamentó en un proceso descriptivo con enfoque cualitativo planteado por Sampieri *et al.* (2010), que permitió analizar la importancia de modelo Daisy en la descripción teórica del efecto de la dinámica del nitrógeno en la producción de cultivos y su relación con la calidad de agua.

El proceso metodológico desarrollado fue:

1. Revisión de información secundaria de bases de datos de algunas instituciones ambientales como: Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, en la página oficial del modelo Daisy que fue desarrollado en la universidad de Copenhague en Dinamarca donde se tomó el manual del modelo y la Universidad de Nariño.
2. Realizar una discusión de la literatura revisada, mediante la identificación de funciones del modelo Daisy para determinar el desarrollo de sus componentes de entrada y salida para el efecto de la dinámica del nitrógeno en la producción de cultivos. Su posible efecto en la calidad del agua, concluyendo si la importancia del software es crucial para adaptarlo en las condiciones regionales y que variables se deben tener en cuenta para que este pueda ser aplicado.
3. Plantear una propuesta que encamine al desarrollo de la aplicación del modelo en futuras investigaciones mediante el desarrollo de la importancia del software Daisy, como herramienta local regional que facilite la toma de decisiones sobre la determinación de buenas prácticas de manejo donde se cumpla la protección de cuerpos de agua.

7. Resultados

7.1 Importancia del Software Daisy en la Modelación de Lixiviación Nitrogenada y su Efecto en la Calidad del Agua

En la actualidad se encuentra una gran problemática mundial como lo es, el deterioro del medio ambiente, lamentablemente una de estas problemáticas es la utilización de muchas sustancias que forman parte de la contaminación difusa que se presentan en los sistemas hidrológicos como ríos, humedales, lagos entre otros. Sin embargo, existen los modelos de simulación, que son una simplificación de la realidad y por lo tanto generan diferentes posibilidades de solventar un problema específico, por ello los modelos contribuyen a la mejora del medio ambiente y uso adecuado de fertilizantes mediante el desarrollo de estrategias, medidas y planes de gestión para disminuir la contaminación del agua.

7.2 Importancia del Software Daisy en la Dinámica del Nitrógeno en la Producción de Cultivos y su Efecto en la Calidad del Agua

Por muchas décadas, han existido pozos donde los niveles de nitrato en el agua subterránea son superiores a 50mg/l, o incluso llegan 100 mg/l. esto se explicaba como resultado de la contaminación puntual y continúa originada a partir de fosas sépticas, tuberías de drenaje con fugas o estiércol de las granjas engorda. Estas fuentes son potencialmente productoras de nitrato, y se sabe que actualmente constituye un problema principal en nuestra región. A finales del año 1960 y principios de la década siguiente, se determinó que las concentraciones de nitrato se incrementaron en todos los acuíferos. El efecto era tan diseminado que era claro que la fuente debería ser de tipo difuso, por lo que las prácticas agrícolas eran la fuente principal.

Esta producción intensiva de cultivos, sembrados en el mismo sitio durante muchos años consecutivos, únicamente pudo sostenerse a través de la aplicación de fertilizantes especialmente de fertilizantes que adicionan nitrógeno al suelo en fertilizantes que se usaban como cereales se incrementó alrededor cerca de 30 kg/hectárea a cerca de 200 kg/ hectárea lo que aumento mucho la producción de ganado de engorde al aumentar la densidad del ganado en regiones donde el pasto es abundante debido a la alta concentración de fertilizantes nitrogenado. A medida que la agricultura se volvió intensiva se observó un aumento en las concentraciones de nitrato en el agua

subterránea en diversos países, la correlación entre el aumento en la utilización de fertilizantes nitrogenados y el incremento en la concentración de nitratos en el agua subterránea sugiere que el fertilizante es la fuente principal del nitrato adicional se supuso que una zona del nitrato era lixiviada de la zona del suelo y transportada a nivel freático durante los procesos de infiltración.

De este modo, una de las recomendaciones obvias era la recomendación de utilizar menores cantidades de nitrógeno en los fertilizantes; sin embargo, la industria agrícola de fertilizantes tienen mucho poder como para que dicha recomendación sea aceptada, dentro de algunas de las investigaciones que se plantean en la importancia del software DAISY en la dinámica del nitrógeno en la producción de cultivos y su efecto en la calidad del agua es la abordada por (Abrahansen, 2012)

7.3 Simulación de la Dinámica del Nitrógeno y la Producción de Biomasa en Trigo de Invierno Utilizando el Modelo Danés de Simulación Daisy

En este estudio se describe la simulación del modelo y la dinámica del sistema de plantas en el suelo, donde el modelo DAISY incluye un modelo hidrológico, un modelo de temperatura del suelo, un modelo del nitrógeno del suelo, y un modelo para la dinámica de la materia orgánica del suelo, y un modelo donde se determina el consumo de nitrógeno del cultivo este estudio se utilizó para simular la dinámica del nitrógeno del suelo y la producción de biomasa en trigo de invierno, el trigo de invierno fue cultivado dos lugares con distintas dosis de fertilización nitrogenada, los resultados simulados se compararon con los resultados de nitrógeno inorgánico del suelo, el rendimiento del cultivo y el nitrógeno acumulado en la parte aérea del cultivo, donde se concluyó que el funcionamiento del modelo fue satisfactorio aunque se puede utilizar mejor los ajustes en la calibración. (Hansen & Per, 2012)

Los datos experimentales utilizados en este estudio han sido descritos en detalle por Groot y Verbeke, estos datos se obtuvieron en experimentos de campo en 1982/1983 y 1983/1984 con trigo de invierno cultivado con varios tratamientos con nitrógeno en 3 localidades, Bouwing, el Eest y el PAGV en los países bajos, el objetivo de este experimento fue proporcionar un conjunto de datos para validar modelos de simulación de la dinámica de nitrógeno en cultivos y suelos.

Tabla 3.

Esquema de tratamientos experimentales disponibles para evaluaciones del modelo.

Table 1. Outline of experimental treatments available for model evaluations

Location	1982-1983			1983-1984				
	Total-N ^a kg N ha ⁻¹	N-applications kg N ha ⁻¹			Total-N ^a kg N ha ⁻¹	N-applications kg N ha ⁻¹		
		Feb	May	June		Feb	May	June
The Bouwing	N1 = 115	0	0	0	N1 = 130	70	0	0
	N2 = 175	0	60	0	N2 = 230	70	60	40
	N3 = 275	0	120	40	N3 = 250	70	120	40
The Eest	N1 = 94	0	0	0	N1 = 136	50	60	0
	N2 = 154	0	60	0	N2 = 186	50	60	40
	N3 = 254	0	120	40	N3 = 186	50	60	40
PAGV	N1 = 120	80	0	0	N1 = 140	80	0	0
	N2 = 200	60	80	0	N2 = 240	80	60	40
	N3 = 300	60	140	40	N3 = 300	80	120	40

^a) Incl. the content of NH_4^+ + NO_3^- in the soil profile to 1 m depth in February.

Todas las propiedades hidráulicas requeridas del suelo en términos de las características del agua del suelo y de la conductividad hidráulica se obtuvieron a partir del conjunto de datos experimentales, las propiedades térmicas del suelo se calcularon según De Vries, el contenido de carbono del suelo proporcionado en el conjunto de datos experimentales se utilizó para la validación del modelo se obtuvieron datos de suelo a una profundidad de 30.

Tabla 4.

Parámetros utilizados en el modelo.

Carbon turnover model		
Decomposition rate coefficient ^a of SOM ₁	day ⁻¹	2.7 · 10 ⁻⁶
Decomposition rate coefficient ^a of SOM ₂	day ⁻¹	1.4 · 10 ⁻¹
Decomposition rate coefficient ^a of AOM ₁ (root material)	day ⁻¹	7.0 · 10 ⁻³
Decomposition rate coefficient ^a of AOM ₂ (root material)	day ⁻¹	7.0 · 10 ⁻²
Death rate coefficient ^a of BOM ₁	day ⁻¹	1.0 · 10 ⁻³
Death rate coefficient ^a of BOM ₂	day ⁻¹	1.0 · 10 ⁻²
Maintenance coefficient ^a of BOM ₁	day ⁻¹	1.0 · 10 ⁻²
Maintenance coefficient ^a of BOM ₂	day ⁻¹	1.0 · 10 ⁻²
Substrate utilization efficiency of BOM ₁		0.60
Substrate utilization efficiency of BOM ₂		0.60
Partitioning constant f_{SOM_1}		0.10
Partitioning constant f_{SOM_2}		0.40
Partitioning constant f_{BOM_1}		0.50
Initial carbon content		
Fraction of soil C allocated to SOM ₁		0.793
Fraction of soil C allocated to SOM ₂		0.200
Fraction of soil C allocated to BOM ₁		0.004
Fraction of soil C allocated to BOM ₂		0.003
Amount of C allocated to AOM ₁ (root material)	t ha ⁻¹	0.36
Amount of C allocated to AOM ₂ (root material)	t ha ⁻¹	0
Net nitrogen mineralization (ammonification)		
C/N ratio in pool SOM ₁		
C/N ratio in pool SOM ₂		
C/N ratio in pool BOM ₁		6
C/N ratio in pool BOM ₂		10
C/N ratio in pool AOM ₁		100
Nitrification		
Turnover rate coefficient ^a	day ⁻¹	0.1
Denitrification		
Empirical constant, α_g^d , in Eq. (6)	g Gas-N/g CO ₂ -C	0.1
Nitrogen movement in soil		
Longitudinal dispersivity	cm	4

Los datos experimentales sobre las características del agua y el suelo y la conductividad hidráulica no saturada y el contenido de agua del suelo en la ubicación de Bouwing indican que el flujo de bypass domino el flujo de agua en el suelo no saturado, en consecuencia, la dinámica simulada del agua del suelo resulto ser poco satisfactoria ya que el flujo de agua bypass no está incluido en el modelo. Por esta razón, la dinámica del nitrógeno en el suelo no fue simulada para esta localidad, las ubicaciones Eest y PAGV son suelos poldérmicos con una capa superficial de agua subterránea que afecta la dinámica del suelo y el agua en consecuencia la dinámica del nitrógeno del suelo y en consecuencia también la dinámica del nitrógeno del suelo considerablemente.

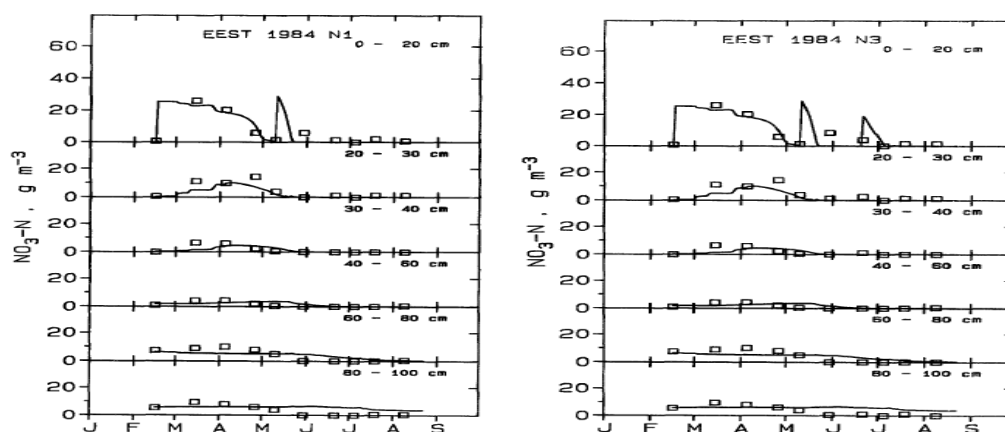


Figura 3. Simulado las concentraciones medidas de nitrato.

Nota: Durante el período de febrero a agosto en varias profundidades del suelo para el tratamiento N1 y N3, localización Eest, 1984.

El flujo de nitrógeno a través del límite inferior de la zona de raíces fue insignificante para ambos lugares, además parece que los niveles de desmineralización y desnitrificación son más altos en Eest en comparación con PAGV esto se puede atribuir parcialmente a un mayor contenido de carbono inicial y en parte a mas condiciones húmedas en la zona de la raíz, en Eest en comparación con PAGV, esto se puede atribuir a un mayor de carbono inicial , las concentraciones indicadas en las figuras y simuladas durante estos periodos muestran valores pico característicos que ocurren en la capa superior del suelo como consecuencia de la aplicación de fertilizantes.

Los picos de concentración se conocen porque son suelos más profundos, capas con algún desplazamiento de fase y valores de pico son más pequeños y menos distintos, este patrón general de los perfiles simulados de concentraciones de nitrato indican que se ha producido algún movimiento descendente de nitrato durante la estación de crecimiento, cualitativamente y cuantitativamente el acuerdo entre los valores observados y simulados es satisfactorio con algunas excepciones. (Hansen & Per, 2012)

En el caso de Eest la desaparición simulada de nitrato en la capa superior después de la segunda aplicación de fertilizante es demasiado rápida en comparación con los resultados experimentales en el caso del tratamiento PAGV el modelo sobreestima el contenido de nitrógeno mineral del suelo después de la segunda aplicación de fertilizante. En cuanto a la producción de biomasa y la absorción de nitrógeno en la parte del brote del cultivo durante la estación de crecimiento es bastante satisfactorio durante la primera parte de la temporada de crecimiento, mientras que más

adelante el modelo tiende a sobreestimar la producción de biomasa, esto también se observa en el diagrama de dispersión, eso también debe tenerse en el actual modelo de cultivo no tiene en cuenta posibles efectos perjudiciales distintos de los causados por el agua del suelo o la deficiencia de nitrógeno en el suelo, parece que el modelo tiende a subestimar ligeramente la absorción de nitrógeno acumulado en el rodaje durante la primera estación de crecimiento.

En el tratamiento en el caso de PAGV el acuerdo entre la absorción de nitrógeno simulado y observado era satisfactorio mientras que el modelo sobreestima el contenido de nitrógeno mineral del suelo después de la segunda aplicación de fertilizantes fue satisfactorio para la absorción de nitrógeno así como por el contenido de nitrógeno también para la absorción del nitrógeno mineral, al darse cuenta de la lixiviación de nitrógeno para ser insignificante el modelo probablemente subestima las desnitrificación en el caso del tratamiento PAGV fuertemente fertilizado.

7.3.1 Conclusión. Al final de este artículo se concluye que la presente validación del modelo ha incluido datos de los experimento con trigo cultivado en invierno en diversas dosis de fertilizante mineral, los resultados planteados por DAISY la simulación arroja que la concentración de nitrógeno de nitrato en el suelo en el rendimiento de los cultivos y la acumulación de nitrógeno se precisan en el tiempo del cultivo, se concluye que el cambio global del modelo es satisfactorio aunque algunos pequeños ajustes del modelo puede llegar a ser necesario.

7.4 Modelado Integrado de la Producción de Cultivos y Lixiviación de Nitratos con el Modelo Daisy

En el presente estudio se diseñó y aplico una estrategia de modelado integrada al modelo de transferencia de suelo, vegetación, atmosfera, se toma el software DAISY para simular la producción de cultivos y la lixiviación de nitratos bajo condiciones pedoticas y agronómicas diferentes de la parametrización original del modelo, los puntos de importancia y cautela y la estrategia son.

La estrategia de modelado integrada es aplicable para otros modelos basados en procesos similares a DAISY se prevé una estrategia que establezca la capacidad del modelo como una investigación útil en la toma de decisiones aumentando la obtención de conocimiento de control y trazabilidad sobre posibles soluciones de problemas presentados en campo.

7.4.1 Detalles de la Investigación. El software DAISY fue diseñado y parametrizado con mediciones de suelos arenosos y rotación de cultivos individuales en el marco del clima templado sub húmedo del norte de Europa principalmente, fue calibrado para diferentes ambientes pedoreos y agronómicos, se diseñó y aplico una estrategia del modelo integrado.

Para simular la producción de cultivos y la lixiviación de nitratos en la rotación doble de cultivos de maíz y trigo de invierno en suelos limosos en la china semiárida, la estrategia de modelado es aplicable para otros modelos basados en procesos similares al software DAISY.

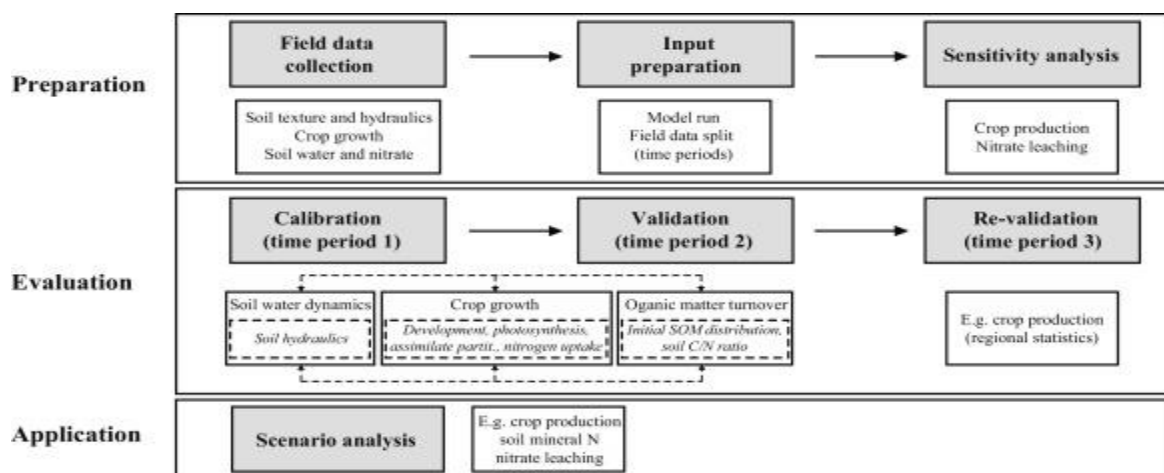


Figura 4. Principales etapas de la estrategia de modelización integrada para establecer el modelo Daisy.

Nota: para las condiciones climáticas-cultivos-suelo en la llanura del norte de China. Las cajas grises indican los pasos principales; Los cuadros blancos indican variables procesos principales; Los cuadros de líneas discontinuas denotan conjuntos de parámetros; Las flechas de trazo denotan iteraciones. SOM es materia orgánica del suelo; La relación C/N es la relación carbono-nitrógeno.

7.4.2 Preparación del Modelo. El objetivo de este estudio refleja la calibración de datos en campo para la simulación de crecimiento del cultivo y procesos de nitrificación en el suelo, el trabajo se realizó en la estación experimental LAUCHEN de la academia china de ciencias SHIJIAZHUANG en la llanura del norte de china.

Las mediciones fueron en los cultivos de maíz, trigo realizando una rotación de cultivos, el maíz fue sembrado en junio y se cosecho en octubre, luego se sembró el trigo y se cosecho en los meses de junio del año siguiente. Se establecieron parcelas con bloques completamente al azar con 3 repeticiones en dos campos vecinos, las parcelas se cubrieron con fuentes de nitrógeno en tasas anuales, las parcelas demostrativas se cubrieron con fertilizantes a base de urea, con las siguientes dosis de 200, 400, 600 kg/ha, estas dosis se aplicaron en diferentes estados fenológicos del cultivo,

como cosecha, floración, siembra en los dos cultivos trigo, maíz los datos de campo fueron evaluados en un periodo de 2007- 2013.

Las variables evaluadas fueron: índice de área foliar, materia seca, contenido de nitrógeno, profundidad de enraizamiento para maíz y trigo, se evaluó evapotranspiración donde se determinó el drenaje de los lotes con un balance método de balance hídrico, para el factor de la lixiviación las concentraciones de amoníaco fueron despreciables, la lixiviación se obtuvo multiplicando el drenaje por concentraciones de nitrato, en este paso se tuvo en cuenta los tiempos de siembra época de aplicación, dosis de nitrógeno, y aplicación de riego, fecha y labranza.

La calibración de la lixiviación de nitratos se realizó mediante la alteración del compartimiento de renovación de materia orgánica del suelo (SOM). Se incluyó un período histórico de cinco años antes del año experimental (un período de "calentamiento") con datos conocidos de entrada de N de fertilizantes y residuos de cultivos para cada simulación con el fin de aproximar la mineralización neta anual, es decir, la liberación de N de la mineralización de la materia orgánica se agrupa en el modelo. La mineralización neta es sensible a la distribución de SOM al inicio del período de simulación, por lo que el modelo se inicializó con SOM, un parámetro sensible que refleja la cantidad de SOM en las piscinas lentas, rápidas e inertes del modelo.

Este parámetro se calibró primero para el tratamiento N0 hasta que los cultivos simulados N en la cosecha coincidieron con los valores medidos. Una suposición inherente era que el balance hídrico es correcto; de lo contrario, la lixiviación de nitratos también será desconocida. La relación se usó y ajustó, si era necesario, para simular los otros tratamientos. La volatilización del amoníaco se simuló suponiendo que el aumento de la temperatura, la humedad del suelo antes de la aplicación y la cantidad de urea aumentan el pH del suelo y, por lo tanto, conducen a pérdidas relativamente mayores de fertilizantes. Por lo tanto, las pérdidas de 50, 100, 150, 200 y 300 kg N ha⁻¹ las cantidades de fertilizante se establecieron en 5%, 10%, 12%, 15% y 17%, respectivamente. Los parámetros relevantes para la renovación de la materia orgánica.

Tabla 5.

Modelo de rendimiento de validación para los experimentos de campo en la estación de Luancheng, North China Plain.

Variable	Campo	Modelo	RMSR	Dev	YO	R ²
Biomasa de maíz (Mg ha⁻¹)						
Grano	7.2 (0.1)	7.5 (0.4)	1.01	0.22	0.35	0.39
Sobre el suelo	11.8 (1.4)	12.7 (0.4)	1.28	0.72	0.64	0.75
Nitrógeno de maíz (kg N ha⁻¹)						
Grano	105 (17)	121 (4.7)	22.40	20.04	0.17	0.24
Sobre el suelo	166 (5.8)	182 (2.4)	17.94	16.24	-0.77	0.22
Biomasa de trigo de invierno (Mg ha⁻¹)						
Grano	6.4 (0.8)	5.6 (0.5)	1.10	-0.68	0.17	0.14
Sobre el suelo	12.1 (1.4)	11.3 (0.8)	1.30	-0.92	0.79	0.38
Nitrógeno de trigo de invierno (kg N ha⁻¹)						
Grano	130 (11.8)	121 (24.2)	17.27	-8.54	0.18	0.58
Sobre el suelo	155 (18)	175 (33.7)	31.09	20.70	-1.82	0.45
Agua del suelo (% en volumen) a: 20 cm	31 (5)	29 (6)	6.44	0.02	-0.17	0.35
100 cm	26 (4)	25 (6)	3.94	-0.01	-0.03	0.76
180 cm	36 (3)	34 (4)	4.75	-0.02	0.01	0.29
Evapotranspiración (mm mes⁻¹)	83	73	30.34	-10.81	0.75	0.82
Drenaje del agua del suelo (mm ha⁻¹ año⁻¹)	51 (14)	40 (4)	16.48	-11.62	0.12	0.10
Lixiviación de nitrato (kg N ha⁻¹ año⁻¹)	45 (38)	34 (31)	16.68	-8.60	0.81	0.93

Nota: los valores se agrupan para los períodos de validación de cada variable. Los valores entre paréntesis son una desviación estándar de la media.

La calibración de la lixiviación de nitratos, el modelo fue validado de todos los datos en campo y las estadísticas fueron aceptables a pesar de algunos valores negativos para el nitrógeno, por lo tanto el maíz y trigo de invierno fueron parametrizados en la calibración del cultivo, esto genera una valiosa cuota para futuros estudios de simulación con el modelo DAISY, los resultados arrojan que es necesario medir retención del agua del suelo y las propiedades hidráulicas de campo para así aumentar la dinámica del agua y el suelo, se concluye que en la escala de tiempo el modelo funciona bien.

Una de las conclusiones de la modelación fue que las estadísticas de la calibración del modelo fueron aceptables. Dadas las iteraciones en el marco de modelado integrado, la calibración contribuye decisivamente a obtener una mejor comprensión de la estructura del modelo y su correspondencia con el sistema del mundo real, aunque es intrínsecamente subjetiva y puede llevar

mucho tiempo. Un período simulado de 10 años toma aproximadamente 3 minutos en tiempo real en computadoras estándar, y los usuarios pueden implementar procedimientos semiautomatizados para partes del esquema de calibración, teniendo en cuenta valores realistas de los parámetros biofísicos presentes en el modelo. Uno de los objetivos de este trabajo del modelado es realizar un seguimiento de la simulación de todos los componentes principales, del balance de intereses de masas los saldos de nitrógeno por lixiviación de nitratos cayeron dentro de sus rangos medidos para los mismos o similares con prácticas de manejo comparable.

El modelo se utilizó en esta investigación para varias combinaciones de manejo del suelo se consideran 3 tasas de fertilización en la revalidación del modelo, dosis que están entre 400, 200, 300 kg/ha, el rendimiento de las cosechas simuladas y los resultados de simulación de nitrato para cada combinación, clima, suelo, manejo, las variables que se compararon fueron rendimiento de cultivos, cosecha, pérdidas de lixiviación por nitratos, concluimos que para el rendimiento de cultivo aumento para los cultivos maíz, trigo.

Se concluye que aumento el rendimiento de los cultivos por el tipo de suelo donde hay contenido de arcilla con respecto a otra zonas, los resultados de este escenario apuntan a las opciones para la gestión regional de nitrógeno en relación con la tasa de fertilización nitrogenada donde la incorporación de material vegetal hace que la lixiviación de acuerdo con la simulación disminuya respecto a zonas que no tienen contenido de material vegetal en el suelo.

7.4.3 Conclusión. Se aplicó el modelo Daisy en los ensayos empleados en los cultivos de maíz, trigo de invierno con el objetivo de optimizar la fertilización nitrogenada, donde se logró una reducción del 50% del nitrógeno aplicado con respecto a las prácticas habituales de la zona, alcanzándose un uso más eficiente del nitrógeno y sin verse afectada la producción comercial. En otros estudios se han obtenido valores hasta de 155 kg N/ha de nitrógeno residual en el suelo susceptible de ser lavado con las lluvias, entrañando un riesgo de contaminación de las aguas subterráneas. Se simuló con Daisy diferentes niveles de fertilización ensayados en campo detectándose que la pérdida de nitrógeno por volatilización simulada, comprendida entre el 66 y el 24 % del nitrógeno aplicado como fertilizante. El modelo Daisy ha demostrado su utilidad para evaluar tanto impactos ambientales como económicos de diferentes prácticas de manejo del abonado en el cultivo, de maíz y trigo simulando las posibles pérdidas de nitrógeno durante el cultivo disminuyendo la contaminación por nitratos en las aguas subterráneas.

7.5 Análisis Importancia del Software Daisy para el Efecto de la Dinámica del Nitrógeno en la Producción de Cultivos y su Relación con la Calidad de Agua

De acuerdo a este objetivo existe gran variedad para modelizar los procesos y dinámicas del nitrógeno en los cultivos, en función de este objetivo marcado en cada trabajo de modelación y prioridades en la descripción de dichos procesos se han desarrollado distintos modelos. Las diferencias en las aproximaciones o ecuaciones utilizadas se encuentran fundamentalmente en el grado de detalle, de la descripción de procesos simulados. Procesos biológicos como la extracción de nitrógeno por el cultivo o la actividad microbiana en el suelo, son modelos no muy bien comprendidos, varían mucho en la forma de simularlos. Existen desde modelos simples o empíricos que, por ejemplo simulan la extracción de nitrógeno a partir de rendimiento obtenido o el nitrógeno potencial extraído, hasta modelos complejo o mecanicistas que tienen en cuenta factores edáficos, climáticos y fisiológicos para simular el crecimiento del cultivo y la absorción de nitrógeno por la planta.

De todos los procesos que interviene en el proceso del nitrógeno en los cultivos, uno de los que presenta mayor problema en la planta es la extracción de nitrógeno en la planta, que son básicos para poder simular el crecimiento de los cultivos. Según Cannavo et al (2008), se puede encontrar varias aproximaciones utilizadas en la modelación de la extracción de cultivos, en cualquiera de ellas destaca muchos parámetros de cultivo que son necesarios para introducir en los modelos para simular el crecimiento y absorción de nitrógeno por la planta.

Otro proceso como la lixiviación es más fácil de simular y es calculado en distintos modelos; en tres casos, en la modelación de la fijación de nitrógeno o de volatilización del amoníaco no existe gran diversidad en las ecuaciones pero, debido a que pocos modelos los simulan con descripción detallada esa es una de las importancias del software Daisy. Cuando existe simulación de cultivos y pérdidas por lixiviación, la modelación es más detallada por las entradas y las variables que se necesitan para que tenga una gran simulación. En cambio otros modelos lo hacen de forma empírica bien por el desconocimiento de procesos o por no ser un proceso importante en la investigación.

El autor Cannavo et al. (2008), realizó una revisión bibliográfica de 62 modelos de simulación del nitrógeno empleados en la agricultura. Según este estudio, los procesos más comúnmente

simulados son, por orden de frecuencia, por orden de mineralización, lavado y extracción por el cultivo, nitrificación, desnitrificación, volatilización y fijación simbiótica de nitrógeno. Solo el 28% del total de modelos estudiados calculan todos estos procesos, exceptuando la fijación que generalmente no es considerada cuando se simula el balance de nitrógeno, algunos modelos que tenemos en cuenta son, CROPSIST, CROPGRO, STICS.

Estos modelos no simulan todas las funciones en específico pero hay otros que simulan exactamente la producción de cultivos o el crecimiento de las plantas, por ejemplo, SUCROS (Van Ittersum et al., 2003) y otros modelos se han especializado en simular el nitrógeno lixiviado y la mineralización, por ejemplo, LXIM (Mary et al., 1999) o en simular las emisiones gaseosas, por ejemplo NOE (Henault et al., 2005) que calcula emisiones de óxido nitroso o VOLT AIR (Le Cadre, 2004) dedicado a la volatilización en todos estos modelos especializados. El resto de procesos que intervienen en la dinámica del nitrógeno en los cultivos no son simulados o simplificados, es habitual emplearlos con otros modelos que calculen los procesos no simulados para obtener un balance de nitrógeno completo.

La mayoría de los modelos de nitrógeno trabajan a escala de parcela o cultivo, aunque existen modelos que actúan a escala de cuenca, por ejemplo, SWAT (Arnold et al., 1998). Algunos están acoplados a sistemas de información geográfica como NLEAP GIS 4.2 NTT (Shaffer et al., 2010; Delado et al., 2010). En general los cálculos de simulaciones se realizan para cada día de simulación, aunque en algunos modelos las salidas se realicen para el conjunto del periodo de cultivo.

No todos los modelos son capaces de simular el ciclo del nitrógeno en el sistema suelo-planta para simular para más de un cultivo, los cereales son los cultivos más simulados entre ellos destaca el cultivo de trigo (Cannavo et al., 2008) destaca los modelos CERES (Hanks y Ritchie, 1991) y CROPSYST (Stöckle et al., 1994), los cuales llegan a simular hasta seis cultivos diferentes de cereales. El modelo de simulación EPIC (Williams et al., 1984) es uno de los que simulan. Además de varios cereales, otros grupos de cultivos como leguminosas, arroz, tubérculos e incluso especies arbóreas como el pino.

La principal conclusión según Cannavo et al (2008), es que la tendencia en la modelación en los cultivos en los últimos años ha sido el cambio de modelos mecanicistas a modelos funcionales, con

una simplificación de las ecuaciones involucradas en la simulación y una agrupación por módulos de acuerdo a objetivos específicos. A la vez, subrayan que se han desarrollado modelos con el objetivo de asociar los procesos biológicos físicos, algo no habitual a principios de los 90s, entre las limitaciones de uso de los modelos destacan la dificultad de acceso a los detalles de la modelación, algo se muestra esencial para poder adaptar y ajustar la simulación a las condiciones del usuario, otra limitación de estos modelos es que no pueden simular la rotación de cultivo lo cual restringe la aplicación.

7.6 Importancia del Software Daisy en Comparación a Otros Modelos de Simulación

El software DAISY ha sido desarrollado en Dinamarca como herramienta para evaluar el crecimiento de cultivos, los balances de agua y energía, el ciclo de C y la dinámica del NO_3^- y amonio (NH_4^+) en suelos de áreas agrícolas basado en información de manejo y datos climáticos. El modelo DAISY ha sido modificado según (HANSEN et al., 2017), para poder ser utilizado como ayuda en la evaluación y mejora de los impactos ambientales y del rendimiento económico de diferentes rotaciones de cultivos en sistemas de producción convencionales y ecológicas.

Este modelo se puede aplicarse a un total de 70 cultivos, se ha establecido en parámetros de cultivo en Europa, donde dichos parámetros se colocan en el modelo y estos pueden ser muy bien adaptados al cultivo en condiciones específicas. La importancia de este software con respecto a otros modelos radica en la capacidad de simulación de cultivos, el carácter bidimensional del suelo y la simulación del crecimiento de las raíces.

El autor Nendel (2009), realizó una comparación a escala regional de las prácticas tradicionales de fertilización y buenas prácticas agrarias empleando un modelo EU-Rotate_N, que agrupo los diferentes cultivos presentes en la zona de estudio por rotaciones, donde utilizo el modelo CLIMGEN para simular el clima donde realizó una evaluación de pérdidas de nitrógeno y de los costos económicos de las diferentes prácticas simuladas.

Svensen et al (2014), llevo a cabo un experimento en el cultivo de Betarraga azucarera, un cultivo bajo cubierta durante invierno, con 6 tratamientos diferentes dosis para evaluar lixiviación realizaron una evaluación de las predicciones según el modelo DAISY del contenido de nitrógeno

y la lixiviación y nitrógeno extraído por la planta estableciendo que la lixiviación fue de 90kg/ha, donde la percolación dio mayor lixiviación en el cultivo.

Así mismo Hansen et al (2014), en Holanda en un cultivo de invierno como el trigo evaluó la lixiviación, se realizó un modelamiento que llevo a la siguiente observación “la precipitación favoreció la lixiviación de nitrógeno”. También se produjo una percolación positiva, y se evidencio un movimiento de agua ascendente (Percolación negativa Hansen et al., 2009). El autor realizó una descripción bastante completa de las diferentes rutinas y procesos simulados por el modelo Daisy, subrayando que el modelo se ha testado y contrastado con datos observados en un amplio rango de condiciones, en los países implicados en el proyecto.

El modelamiento propuesto se llevó a cabo en Alemania, Dinamarca y Holanda; en esta validación se aplicó en 32 cultivos y en diferentes condiciones, las simulaciones de este modelo contrastaron con datos observados de nitrógeno mineral en el suelo, materia seca acumulada en cosecha y producción comercial tras la modelación. Se establecieron estrategias nuevas de fertilización que fueron simuladas y comparadas en lo referente a lavado de nitrógeno y beneficio económico.

Según (Abrahamsen, 2012) Daisy es un modelo dinámico bien probado para la simulación de la dinámica del agua y el nitrógeno y el crecimiento de los cultivos en los agro ecosistemas. El modelo tiene como objetivo simular el balance hídrico, el equilibrio y las pérdidas de nitrógeno, el desarrollo de la materia orgánica del suelo y el crecimiento de los cultivos y Producción en rotaciones de cultivos bajo estrategias alternativas de manejo. El software, recientemente reescrito, ha sido cuidadosamente diseñado para facilitar la interacción con otros modelos, ya sea reemplazando los procesos individuales de Daisy o usando Daisy como parte de un sistema más grande, haciendo de Daisy un sistema de software abierto.

Para responder al objetivo general se toma como referencia la investigación de (Abrahamsen, 2000) del modelo Daisy donde en la mayoría de los sistemas agrícolas, la principal pérdida de nitrógeno se debe a la lixiviación del nitrato a partir de los ácidos. El hecho de que las mediciones de laboratorio y las mediciones necesarias para la evaluación de la lixiviación de nitrógeno de los cultivos agrícolas sean caras, ha llevado al desarrollo de modelos de agroecositemicos capaces de simular la dinámica del nitrógeno en los suelos agrícolas y en particular simular la lixiviación.

En Dinamarca esto llevó al desarrollo del modelo de Daisy (Hansen et al., 1990, Hansen et al., 1991). Este modelo se ha utilizado desde entonces ampliamente (por ejemplo, Blicher-Mathiesen et al, 1990, 1991, Hansen et al., 1991b, 1992, Hansen y Svendsen, 1994, Hansen y Svendsen, 1995, Jensen y éstergaërd, 1993 Jensen et al., 1992, 1996, Jensen et al., 1994, Magid, Y Kùlster, 1995; Mueller et al., 1996; Petersen et al., 1995; Styczen y Storm, 1993). Las aplicaciones modelo comprenden tanto estudios científicos como estudios relacionados con la gestión dirigidos al apoyo a la decisión. Además, el modelo ha sido validado en una serie de ensayos comparativos importantes (Diekkruëger et al., 1995, Hansen et al., 1991, Jensen et al., 1997, Smith et al., 1997, Svendsen et al. 1995, Vereecken et al., 1991, de Willigen, 1991). Por lo tanto, Daisy puede ser considerado un modelo bien probado.

Según (S. Hansen, P. Abrahamsen, C. T. Petersen, & M. Styczen, 2012), Daisy es un modelo de agroecosistema unidimensional que en resumen, simula la producción de cultivos y el rendimiento de los cultivos, así como la dinámica del agua y el nitrógeno en suelo agrícola. Basado en información sobre prácticas de manejo y datos meteorológicos (valores diarios), aplicado a áreas con aguas subterráneas poco profundas. También requiere información sobre la posición de la capa freática. El modelo puede ser visto como un conjunto de procesos, y para aplicar el modelo, los modelos de proceso deben ser inicializados y parametrizados.

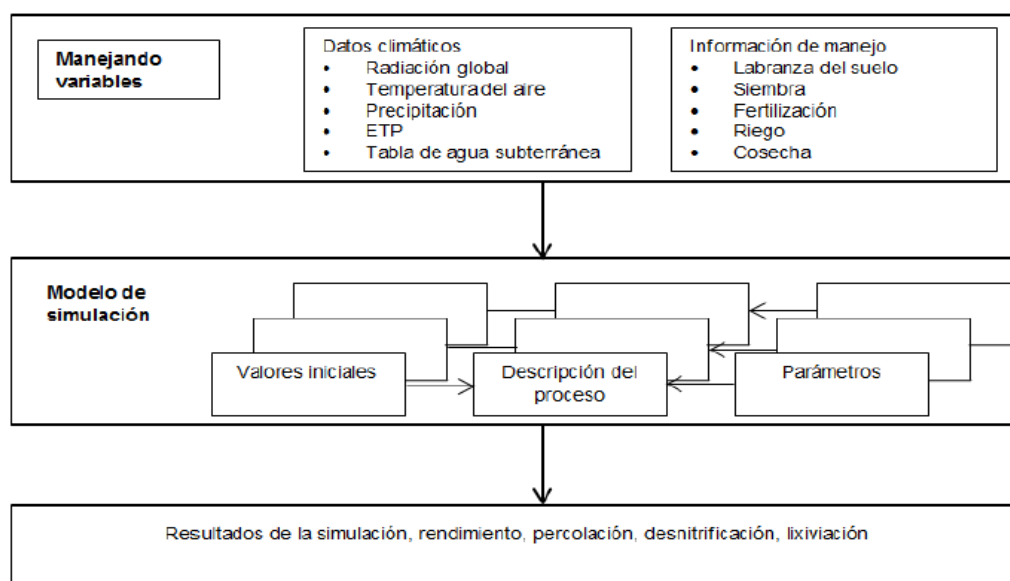


Figura 5. Esquema del modelo Daisy.
Fuente: (Tapia López, 2014).

DAISY ha sido desarrollado como una herramienta que facilita la toma de decisiones a escala local y regional para el establecimiento de BMP, para cumplir con las normas de protección de cuerpos de agua y en estudios de evaluación de impacto ambiental orientados a calidad de aguas subterráneas Tapia (citado por, Hansen, 2002).

Según Tapia, 2014, el mejoramiento de las recomendaciones de fertilización también puede ser posible por el uso de modelos que simulan los balances de N, donde las mediciones en el suelo pueden ser total o parcialmente reemplazadas por la simulación de la dinámica del N. Por tanto, es posible ajustar las recomendaciones a condiciones sitio específicas que consideren la variabilidad edafoclimática; lo que no sería técnica y económicamente viable si las recomendaciones estuviesen basadas en muestras de suelo y posterior análisis, lo que genera costos altos y requiere de un tiempo considerable para su procesamiento Tapia (citado por Svendsen , 1995 , Jensen , 1996).

Debido a su visión integral, el modelo DAISY permite determinar cuáles son las variables que favorecen la movilización de N y focalizar por tanto acciones de mitigación hacia procesos o factores específicos.

7.7 Descripción del Modelo

La esquematización adoptada para la dinámica del agua en suelos agrícolas se observa en la figura 6; donde los bloques representan las reservas y las flechas los flujos de agua. La precipitación o riego (ganancias) constituyen las variables de conducción o condiciones límite. Una condición límite adicional implícita en la Figura 6, es la evapotranspiración potencial que constituye el límite superior por fenómenos como la evaporación y transpiración (Abrahamsen y Hansen, 2000). La escorrentía superficial, la percolación profunda, el drenaje artificial y de flujo (pérdidas) son también considerados como condiciones de límite inferior (Hansen, 2002).

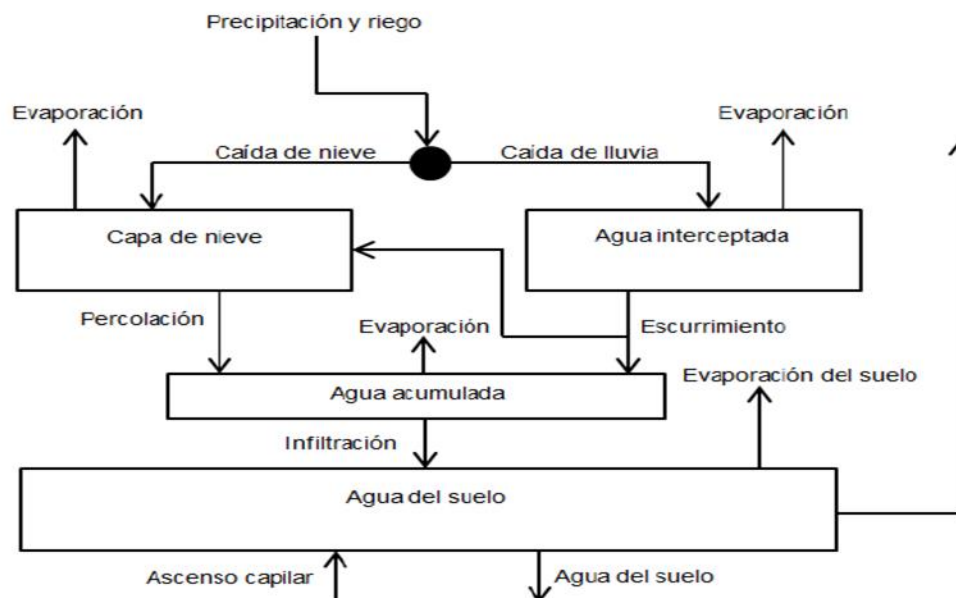


Figura 6. Esquema del componente hidrológico del modelo Daisy.
Fuente: Abrahamsen y Hansen (2000), (Citado por Tapia López, 2014).

7.7.1 Infiltración y Acumulación de Agua. La acumulación sólo se produce cuando el agua se encuentra en la superficie del suelo a una tasa mayor que la velocidad de infiltración máxima; fenómeno que depende de las condiciones propias de cada suelo (Abrahamsen y Hansen, 2000). La acumulación puede dar lugar a la escorrentía, la que se origina si la acumulación excede cierto umbral de almacenamiento del suelo superficial (Hansen, 2002).

7.7.2 Evaporación del Suelo. La capacidad del suelo para suministrar agua se simula a través de una tasa de evaporación potencial, es decir la máxima expresión de evaporación del suelo (Salvucci, 1997), la cual está determinada a partir de las condiciones propias del mismo (Abrahamsen y Hansen, 2000). La energía que puede ser utilizada por la evaporación del suelo se estima como una fracción de la evapotranspiración (calor latente) (Hansen, 2002; Kröbel et al., 2010).

7.7.3 Dinámica del Agua en el Suelo. La simulación del movimiento del agua en el suelo se basa en una teoría potencial basada en la solución numérica de la ecuación de Richard (Abrahamsen y Hansen, 2000). La ecuación de Richard es de segundo orden parcial y como tal requiere del conocimiento de dos condiciones límite. La condición de límite superior está determinada por una condición de presión por acumulación de agua en la superficie o condición de flujo por infiltración.

Por el contrario, el límite inferior está definido por el usuario, a través de una condición de presión (conocimiento de la posición del agua subterránea), flujo de gravedad (profundidad de la capa freática) y una condición dada por el drenaje (Hansen, 2002). La ecuación de Richard requiere del conocimiento de la relación entre contenido del agua en el suelo (Θ) y la presión potencial del agua (h), es decir, una curva característica de retención del agua; y el conocimiento de la relación entre conductividad hidráulica (K), h y Θ , lo que sería la función de K y Θ de cada intervalo de profundidad (Hansen, 2002; Kröbel et al., 2010). Adicionalmente una condición límite posible es el drenaje libre (Abrahamsen y Hansen, 2000).

El transporte de químicos y moléculas está fuertemente relacionado al flujo de agua en el suelo. También el agua actúa como un medio de reacción para muchos procesos de transformación como los que sufren el C y N (Hansen, 2002).

7.7.4 Transpiración. La transpiración está determinada por el consumo de agua de las raíces, donde no se considera su almacenamiento, por lo que se compara únicamente con el agua absorbida (Kröbel et al., 2010). La absorción se modela por un concepto de raíz simple, el cual se aplica dentro de cada una de las capas numéricas con las que la ecuación de Richard trabaja. En dicho concepto se asume que el agua se mueve radialmente hacia la superficie de la raíz, donde es tomada a la misma velocidad con la que llega a la superficie (Abrahamsen y Hansen, 2000). Cabe mencionar que el punto más bajo de consumo potencial de agua corresponde al punto marchitez permanente (Kröbel et al., 2010).

7.7.5 Crecimiento del Cultivo. La fotosíntesis y respiración de la planta se simulan mediante el modelo de cultivo. El modelo se basa en el supuesto que la fotosíntesis puede ser descrita mediante una curva simple de respuesta o en base al cálculo de la distribución de la luz dentro del dosel de la planta (Svendsen et al., 1995; Hansen, 2002).

Una característica del modelo de cultivo es la capacidad de simular la variación temporal en el índice de área foliar (IAF), la profundidad y densidad de raíces y la demanda de N de los cultivos, a través del concepto de unidad termal, el cual implica que el desarrollo de la planta puede ser descrito en términos de la sumatoria de temperaturas y en función de la materia seca (Hansen et al., 1991).

La simulación de la producción de la materia seca está basada en el cálculo diario de la fotosíntesis, partición de asimilados entre parte vegetativa- raíz y respiración de cada componente vegetativo (Hansen et al., 1991; Abrahamsen y Hansen, 2000).

7.8 Dinámica del Carbono

La esquematización adoptada para el ciclo del C relacionado a los suelos agrícolas, se muestra en la figura 7. Los cuadros representan las reservas y las flechas los flujos. El C ingresa al sistema por medio de la fotosíntesis o aplicación de enmiendas orgánicas y se pierde a la atmósfera a través de los procesos respiratorios de la planta y microorganismos (Abrahamsen y Hansen, 2000).

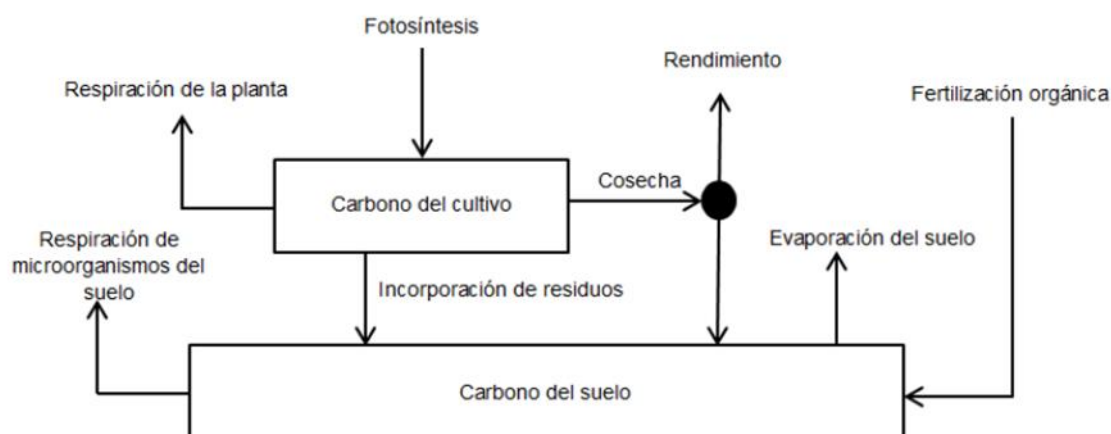


Figura 7. Esquema del ciclo del C componente incluido en el modelo Daisy.
Fuente: Abrahamsen y Hansen (2000), (Citado por Tapia López, 2014).

7.9 Materia Orgánica (MO)

El modelo de MO del suelo se divide en tres tipos diferentes, MO recién incorporada (AOM), la biomasa microbiana del suelo (SMB) y MO nativa del suelo (SOM). El volumen de estos pools se simula mediante la subdivisión de cada tipo en dos sub-pools y al aplicar la degradación de primer orden en cada uno. Así SOM está subdividido en dos subpools SOM1 y SOM2. El sub-pool SOM1 se asume que consiste en MO químicamente estable, es decir, componentes con estructura química que le confieren resistencia al ataque biológico, mientras que el SOM2 se trata de MO parte de la cual es físicamente estable, es decir, componentes los cuales están protegidos contra las

reacciones biológicas por adsorción en los coloides o agregados del suelo (Hansen et al., 1991; Svendsen et al., 1995).

La SMB está subdividida dentro de dos sub-pools para dar lugar a una parte relativamente estable (SMB1) y a una fracción más dinámica (SMB2) de la biomasa microbiana del suelo (Hansen et al., 1991; Svendsen et al., 1995).

La AOM se origina desde la aplicación de enmiendas orgánicas o incorporación de residuos de cultivos. La AOM se encuentra asignada a los sub-pools AOM1, AOM2 y SOM2. El sub-pool AOM1 se asume que consiste principalmente en material de la pared celular, mientras que la AOM2 se caracteriza por ser material celular extraíble en agua. La MO alojada en el sub-pool SOM2 se presume que se trata de lignina y otros componentes resistentes. El sub-pool AOM1 se descompone lentamente y se utiliza de sustrato para SMB1 y SMB2, mientras que AOM2, es fácilmente degradable y solo es sustrato para la SMB2 (Hansen et al., 1991; Svendsen et al., 1995).

Los factores abióticos que influyen el contenido de C son la temperatura del suelo, pH, presión del O₂, disponibilidad de nutrientes inorgánicos y el contenido de agua. En el caso de los sub-pools SOM1, SOM2 y SMB1 también se relacionan con el contenido de arcilla (Svendsen et al., 1995). En un rango de pH de 5 a 8, típico de los suelos agrícolas, la tasa de descomposición de la MO en el suelo parece no afectarse; mientras que se limita en suelos con pH ácido (Hansen, 2002).

La tasa de descomposición de la MO en el suelo no se limita por la presión del O₂, si la misma se encuentra entre 0,05 y 0,2 bar. Presiones bajas de O₂ determinan una tasa menor de descomposición y menos completa. Sin embargo, la aireación del suelo y el suministro de O₂ para los procesos biológicos, tales como respiración de las raíces y descomposición microbiana, están cercanamente relacionados con el contenido de agua en el suelo. Por lo tanto, las condiciones de aireación pueden ser expresadas en términos de humedad (Hansen, 2002).

La MO del suelo en particular las sustancias húmicas, pueden formar complejos con cationes polivalentes como aluminio (Al³⁺), hierro (Fe³⁺) y calcio (Ca²⁺) los mismos que pueden ser adsorbidos por las superficies negativas de las arcillas y coloides. De esta forma, el contenido de arcilla incide en el volumen de C (Hansen, 2002).

El C se pierde del sistema en forma de dióxido de C (CO_2) debido al crecimiento y mantenimiento de la respiración de la SMB. El flujo de C entre los grupos individuales se presenta en la Figura 8. Las tasas de degradación de C pueden ser modificadas de acuerdo con el contenido de N, por tanto el volumen de N orgánico del suelo está estrechamente vinculado al volumen de C (Abrahamsen y Hansen, 2000).

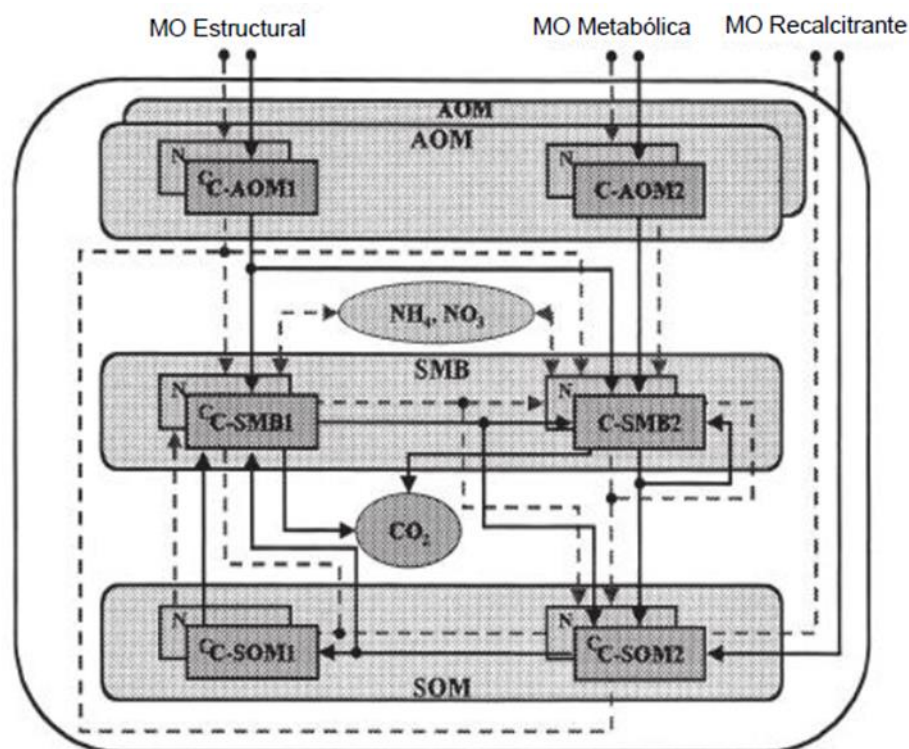


Figura 8. Esquema de la dinámica de la materia orgánica (MO) incluida en el modelo Daisy.
Fuente: Abrahamsen y Hansen, (2000).

7.10 Dinámica del Nitrógeno

La esquematización adoptada del ciclo del N relacionado a los sistemas agrícolas se observa en la figura 9. En el suelo los flujos de N se pueden dividir en entradas y salidas (incluyendo pérdidas), las cuales pueden ser atribuidas a procesos naturales o antropogénicos. Las entradas incluyen: la aplicación de fertilizantes o enmiendas orgánicas, deposición atmosférica, fijación biológica por bacterias simbióticas y no simbióticas e incorporación de residuos de cultivo u otro material orgánico degradable.

Las salidas consisten en la cosecha de los cultivos, adsorción de NH_4^+ en la matriz del suelo y el consumo de NO_3^- y NH_4^+ por microorganismos para el mantenimiento, metabólico, crecimiento y reproducción (inmovilización). Las pérdidas al ambiente incluyen la lixiviación de NO_3^- , volatilización de amoníaco (NH_3) y emisión de gases nitrogenados (óxido nitroso N_2O , óxido nítrico NO y di nitrógeno N_2) por desnitrificación.

Las plantas y microorganismos del suelo utilizan las formas de N mineral (NO_3^- y NH_4^+); mientras que el consumo de N orgánico disuelto se produce, pero en proporciones menores. El N atmosférico está disponible para la planta mediante procesos de fijación biológica (a través de especies de bacterias como *Rhizobium* spp., también por actinomicetes y algas verdes azuladas) e industrial y el N orgánico mediante mineralización (conversión de N orgánico a inorgánico) (Galloway et al., 2004; Stark y Richards, 2008).

La nitrificación, es decir la oxidación de NH_4^+ a NO_3^- vía NO_2^- , es el proceso consecutivo a la mineralización del N orgánico, convirtiéndose en un componente relevante del ciclo del N en los sistemas de agricultura intensiva. Los factores abióticos que influyen la nitrificación son la temperatura y el contenido de agua del suelo (Svendsen et al., 1995; Kröbel et al., 2010).

Como la concentración de O_2 en la solución del suelo usualmente está correlacionada con la temperatura y el contenido de agua, el efecto del O_2 en las tasas de nitrificación está implícitamente incluido bajo el efecto combinado de ambos factores (Hansen et al., 1991). La tasa de nitrificación es generalmente alta en suelos a capacidad de campo; reduciéndose si el contenido de agua excede la capacidad de campo o cuando se encuentra en el rango entre el punto de marchitez permanente (15 bares) y un suelo completamente seco. Por ejemplo, en un suelo incubado a 15 bares más de la mitad de NH_4^+ es transformado a NO_3^- en 28 días; mientras que, en un suelo incubado a 7 bares, un 100% del NH_4^+ es convertido en NO_3^- al final de 21 días (Havlin et al., 2005).

En relación a la temperatura del suelo, el intervalo óptimo para la nitrificación está entre 25 a 35°C, por lo que la aplicación de N fuera de temporada y en temperatura de suelo invernal sería suficiente para retardar la formación de NO_3^- reduciendo el riesgo de pérdidas (Doran y Smith, 1987). La cantidad de NH_4^+ se reduce a medida que la nitrificación ocurre y el NH_4^+ disponible es retenido por las fuerzas que generan la carga negativa de la MO y las partículas de arcilla. (Stark y Richards, 2008).

El NH_4^+ se puede volatilizar cuando está en contacto cercano con la atmósfera como sucede con los fertilizantes basados en NH_3 y NH_4^+ , enmiendas orgánicas o urea que son aplicados en el suelo superficial. La tasa de volatilización de NH_4^+ está afectada por un amplio rango de factores, incluyendo la profundidad de aplicación de los fertilizantes, temperatura del suelo ($\approx 45^\circ\text{C}$), contenido de agua del suelo (con contenido menor de agua las tasas de volatilización se reducen), CIC, cobertura del suelo (el cultivo incrementa la volatilización por: mantenimiento de la humedad y reducción de la difusión de urea en el suelo), velocidad del viento, precipitación y pH del suelo (mayor a 7,5), los cuales hacen de la volatilización un proceso variable y difícil de predecir.

La desnitrificación se produce bajo condiciones netamente anaeróbicas que se producen bajo las siguientes situaciones: cuando los poros se encuentran saturados de agua, por la MO presente en la rizósfera y por descomposición del material vegetal (Hansen et al., 1991; Stark y Richards, 2008). La desnitrificación se incrementa rápidamente entre 2 a 5°C y ligeramente cuando la temperatura sube de 25 a 60°C ; límite en el que una temperatura mayor puede inhibir este proceso (Havlin et al., 2005; Schlesinger 2008; Velthof et al., 2014).

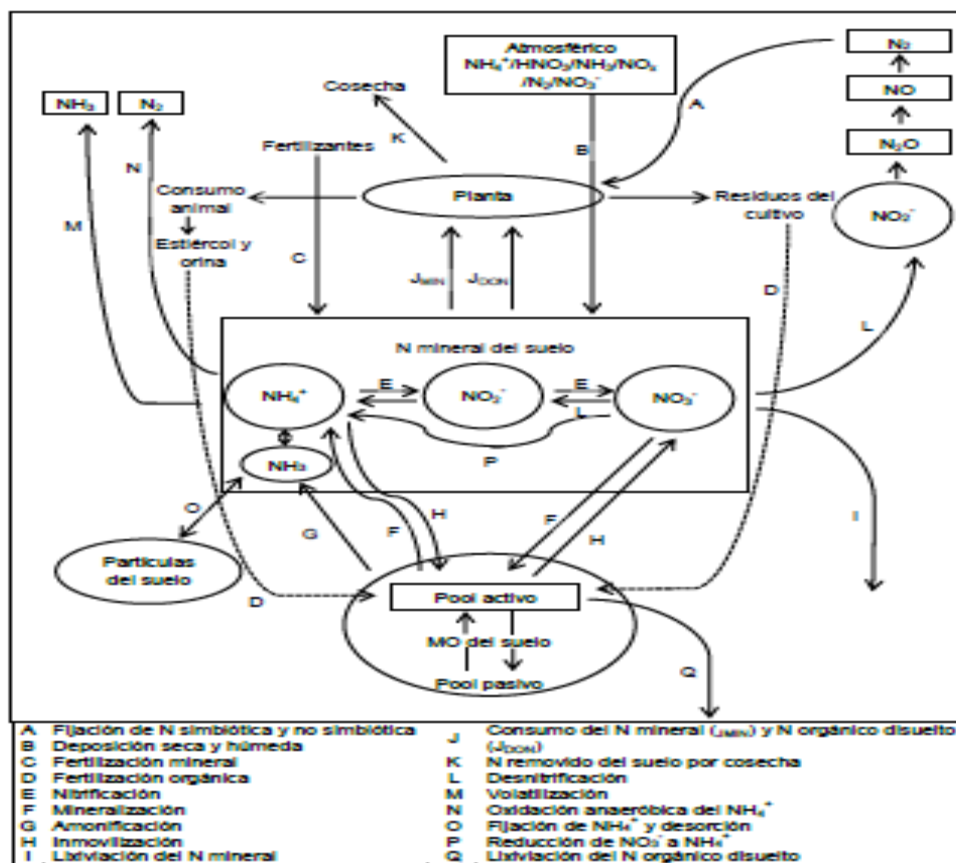


Figura 9. Representación esquemática del ciclo del N en el suelo.

Fuente: Stark y Richards (2008).

7.10.1 Consumo de N. La absorción del N mineral está determinada por la demanda del cultivo o su disponibilidad en el suelo. La demanda de N se simula sobre la base de un contenido potencial de N en la planta, el cual está determinado por la acumulación de materia seca, la etapa fenológica y la concentración de N en el material vegetal. La disponibilidad de N mineral se determina sobre la base del contenido real de N en el suelo y su transporte hacia la superficie de la raíz (Svendsen et al., 1995; Abrahamsen y Hansen, 2000).

La planta puede absorber el N en forma de NH_4^+ o NO_3^- . En el modelo se asume que el consumo del NH_4^+ tiene prioridad sobre el NO_3^- . Sin embargo, como el NH_4^+ es fuertemente adsorbido en la mayoría de suelos, la mayor parte del consumo se produce en forma de NO_3^- (Hansen, 2002).

7.10.2 Temperatura del Suelo. La simulación del régimen de temperatura del suelo se produce mediante una solución numérica de la ecuación de flujo de calor, teniendo transferencia de energía por convección y conducción (Abrahamsen y Hansen, 2000).

Se ha determinado que el rango óptimo de temperatura para la acción microbiana en el proceso de mineralización de N se produce entre 25 y 35°C (Doran y Smith, 1987). Se ha reportado que un incremento en la temperatura del suelo de 0,5°C provoca el aumento en el nivel de mineralización dando lugar a concentraciones mayores de NO₃⁻ en sitios de páramo en Holanda (Stark y Richards, 2008).

7.11 Diseño del Software Daisy

Principales componentes del software. En un nivel elevado de abstracción, DAISY se traduce en una entrada y salida (Figura 10).

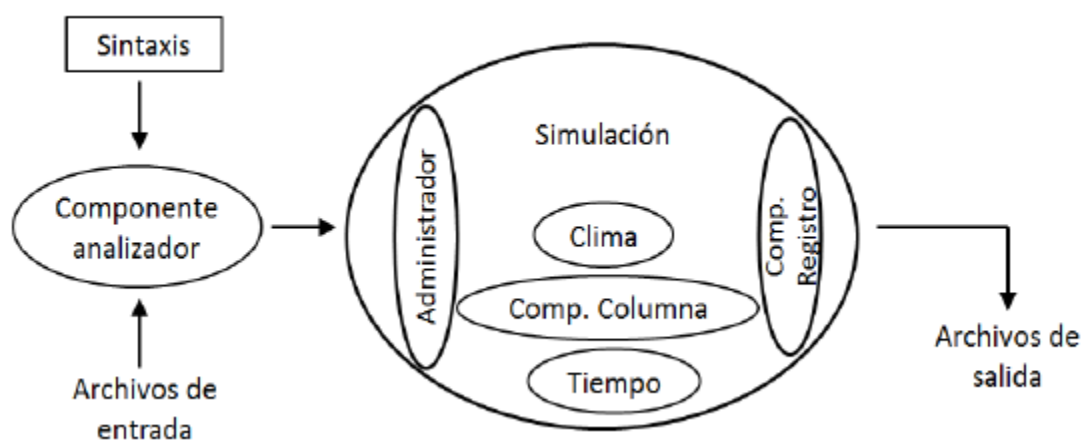


Figura 10. Esquema del modelo de simulación Daisy.
Fuente: Abrahamsen y Hansen, (2000).

La simulación con el modelo DAISY involucra dos fases. La primera fase se refiere al análisis de entrada, el cual se lo realiza mediante un componente analizador, el mismo que se encuentra conceptualmente separado del componente principal de la simulación. La segunda fase representa la simulación en sí.

El modelo de simulación contiene el estado físico y procesos en un número de componentes de columna; algunas variables de manejo, clima, componentes de tiempo y un componente de registro

separado, cuya función es escribir las partes seleccionadas en forma de archivos para análisis posterior (Abrahamsen y Hansen, 2000).

7.11.1 Componente Analizador. El componente analizador traduce el texto de acuerdo con una sintaxis abstracta externa dentro de un árbol de análisis interno. La sintaxis abstracta significa que describe la entrada del modelo en un nivel alto de abstracción (Abrahamsen y Hansen, 2000).

7.11.2 Variables de Manejo.

7.11.2.1 Clima. El clima debe proporcionar un número de datos meteorológicos utilizados por el modelo físico, por ejemplo, la temperatura del aire y precipitación, los mismos que son leídos desde un archivo que contiene los valores diarios promedio (Abrahamsen y Hansen, 2000).

7.11.2.2 Manejo. El manejo es un tipo de componente llamado “acción”. La construcción de acciones se puede dividir en dos categorías: las acciones primitivas como el arado o la cosecha y las compuestas que proporcionan lenguajes primitivos de programación tales como progn, que combina una serie de acciones e if que hace que una acción dependa de una condición dada (Abrahamsen y Hansen, 2000).

La “condición” es otro tipo de componente utilizado cuando se especifican acciones y registros. Se divide en dos categorías de condiciones: las primitivas que ponen a prueba la simulación, tales como at el cual es verdadero en un punto específico en el tiempo y las de lógica (and) que combina simultáneamente algunas condiciones (Abrahamsen y Hansen, 2000).

7.11.2.3 Registros. El output está definido por una lista de componentes de registro que se divide en dos tipos. El primero, el cuadro de registro que escribe a un usuario determinado una lista específica de las variables en un archivo a intervalos de tiempo específicos. Los valores de las variables pueden ser promediados o acumulados en un algún punto de la simulación o cuando la misma se haya completado. El segundo, el checkpoint que describe las variables en un archivo especificado por el usuario en un determinado punto de tiempo dentro del desarrollo de la simulación (Abrahamsen y Hansen, 2000).

7.11.3. Componentes de la Columna. DAISY incluye dentro de su estructura modelos especializados de procesos específicos en la simulación. El software es organizado alrededor de

dichos modelos y cada uno es un componente reemplazable. En la figura 11, se puede apreciar el componente mayor de la simulación que es la columna (Abrahamsen y Hansen, 2000). DAISY es básicamente un modelo unidimensional. Cada objeto de columna representa una línea vertical en el campo, desde el bioclima en la parte superior hasta el agua subterránea hacia el inferior (Abrahamsen y Hansen, 2000).

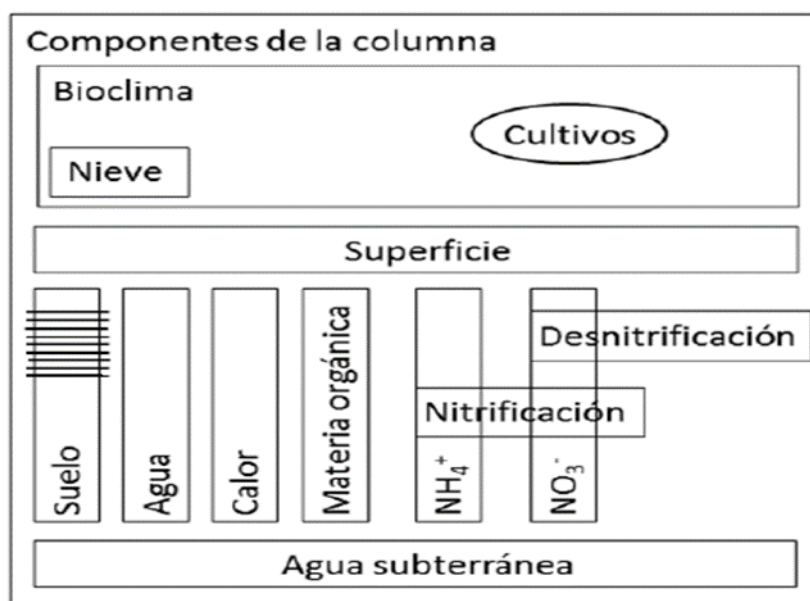


Figura 11. Componentes de la columna.

Fuente: Abrahamsen y Hansen, (2000).

7.11.3.1 Bioclima. La función principal del componente bioclima es distribuir la entrada meteorológica que recibe del modelo climático (Abrahamsen y Hansen, 2000).

7.11.3.2 Cultivos. El componente cultivo incide en el bioclima de acuerdo a la distribución vertical del dosel y a cambio recibe la evapotranspiración potencial y radiación. El modelo de cultivo se utiliza para determinar la cantidad de agua y N que puede extraer desde el suelo (Abrahamsen y Hansen, 2000).

7.11.3.3 Suelo. El componente suelo sirve para dos propósitos: i) la zona entre la superficie y el agua subterránea se divide en un número de capas numéricas para fines computacionales de la modelación. Estas capas están definidas por el componente suelo, como se indica por las líneas horizontales en la figura 11; y ii) las propiedades físicas del suelo, tales como el contenido de arcilla

y la conductividad hidráulica están definidas en una lista específica para cada horizonte, dando lugar a un suelo con características propias (Jensen et al., 1994; Abrahamsen y Hansen, 2000).

7.11.3.4 Agua y Calor. El componente de agua en el suelo hace un seguimiento de su almacenamiento y transporte (Abrahamsen y Hansen, 2000). Mientras que el componente de calor del suelo mantiene un registro de la temperatura por cada horizonte en función de sus propiedades térmicas con lo que implementa un flujo de calor (Abrahamsen y Hansen, 2000).

7.11.3.5 Amonio y Nitrato. El contenido de NH_4^+ y NO_3^- en el suelo es evaluado por medio de dos componentes separados, que permiten al usuario especificar un modelo de transporte mediante la selección de un componente anidado. Los modelos disponibles son convección-dispersión, convección únicamente o que no se produzca transporte. La selección del último caso es muy útil para el NH_4^+ ya que a menudo la adsorción hace nulo su movimiento. Por tanto, el NO_3^- es la forma con movilidad mayor (Abrahamsen y Hansen, 2000).

8. Conclusiones

El software Daisy se desarrolló como la herramienta que facilita la toma de decisiones en zonas locales y regionales para el establecimiento de buenas prácticas de manejo, donde se cumplan las normas de protección de cuerpos de agua y estudios de evaluación de impacto ambiental que se dirigen a la calidad de agua.

La preparación del modelo debe incluir datos de campo en detalle debido a la alta complejidad del suelo y los procesos de cultivo simulados con un modelo basado en procesos, y debe reflejar los objetivos del estudio.

La evaluación del modelo DAISY en varios conjuntos de datos independientes aumenta la robustez, al menos en escalas de tiempo más gruesas, como mes o año. Produce una valiosa plataforma para la adaptación del modelo a nuevos cultivos o para la mejora de los parámetros existentes.

9. Recomendaciones

En futuros estudios se recomienda utilizar una base de datos mayor para el desarrollo del software Daisy, para recomendar el modelo como una herramienta para estimar pérdidas por lixiviación nitrogenada y determinar la calidad de agua de afluentes.

En próximas investigaciones se recomienda que se adapte el software Daisy como una herramienta, para la región donde se pruebe la eficiencia del modelo y se determine las ventajas o problemas que el software pueda generar en desarrollo, con investigaciones de fisiología vegetal, calidad de agua, suelos y producción de cultivos donde se pueda tener un análisis agroambiental como futura herramienta de investigación de apoyo en la toma de decisiones.

10. Lista de Referencias

- Abrahamsen, P., & Hansen, S. (2000). Daisy: An open soil-crop-atmosphere system model. *Environmental Modelling and Software*, 15(3), 313–330. [https://doi.org/10.1016/S1364-8152\(00\)00003-7](https://doi.org/10.1016/S1364-8152(00)00003-7).
- Arauzo, M., & Valladolid, M. (2013). Drainage and N-leaching in alluvial soils under agricultural land uses: Implications for the implementation of the EU Nitrates Directive. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 179, 94–107. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2013.07.013>.
- Escuela De Ingenieria Julio Garavito. (11 de julio de 2017). Obtenido de Escuela De Ingenieria Julio Garavito.: <http://www.escuelaing.edu.co/es/>.
- FAO. (Junio de 2013). Deposito de Fuentes de la FAO. Obtenido de <http://www.fao.org/nr/nr-home/es/>.
- Gomez, E. H., & Ramirez, F. A. (octubre de 2010). riesgos a la erosion en suelos de ladera de la zona cafetera. *Avances Tecnicos Cenicafe.*, 2-8.
- Gray, N. (1994). Drinking water quality. problems and soluciones. chichester, england: john wiley y sons Ltd.
- Hansen, S., & Per, A. (2012). Daisy: uso del modelo calibracion y validacion. *Revista danesa. copenhagen*, 1315-1333.
- Hansen., S. (31 de octubre de 2017). Modelos de suelo. Obtenido de I.S.M.C: <https://soil-modeling.org/resources-links/model-portal/daisy>.
- Hansen, S., Jensen, H. E., Nielsen, N. E., & Svendsen, H. (1991). Simulation of nitrogen dynamics in the soil-plant system using the Danish simulation model DAISY. *Hyd. Int. Between Atmos. Soil, Veg. IAHS*, 204(204), 185–195. <https://doi.org/10.1007/BF01051131>.
- Iglesias, A. E. (2005). Impactos sobre los recurso hidricos. *Evaluacion Preliminar de los impactos en españa* , 303-353.

- Jagdish K. Ladha, H. P. (19 de 09 de 2005). Efficiency of fertilizer nitrogen. *Advance in Agronomy*, 2-72.
- Khalajabadi, S. S. (2015). El proceso de lixiviacion de nutrientes. (S. M. Martin, Ed.) *lixiviacion de nutrientes en suelos de la zona cafetera, practiacas que ayudan a reducirlo.*, 6-7.
- L. M. Tapia, A. L. (2008). Lixiviacion de nitratos en dos sistemas de manejo nutricional. *Proceedings VI World Avocado Congress (Actas VI Congreso Mundial del Aguacate) 2007.*, (págs. 1-8). Villa del Mar Chile.
- Martínez Bastida, J. J. (2009). El nitrógeno en las aguas subterráneas de la Comunidad de Madrid: Descripción de los procesos de contaminación y desarrollo de herramientas para la designación de zonas vulnerables, 234. <https://doi.org/10.1174/021435502753511268>.
- Naivy Hernández, F. S. (9. de Marzo. de 2009). Modelos de Simulacion de C ultivos: características y usos. La Habana., Cuba.
- Ojeda B., E. O. (2000). *Informe nacional sobre la gestion del agua en. Santafe De Bogota.*
- Pacheco, J., Pat, R., & Cabrera, A. (2002). Análisis del ciclo del nitrógeno en el medio ambiente con relación al agua subterránea y su efecto en los seres vivos. *Ingeniería*, 6(3), 73–81. <https://doi.org/10.1109/ICCSN.2011.6013626>.
- Portocarrero, O. (2016). Efecto de la aplicación de zeolita en la recuperación de nitrógeno y el. *Acta gronomica.*, 1-9.
- Portocarrero, R. D. L. A., Acreche, M. M., & Sopena, R. A. (2013). Nitrate leaching in an Argiudoll cultivated with sugarcane. In *Proceedings of International Society of Sugar Cane Technologists* (Vol. 28, pp. 1–7). <https://doi.org/10.1007/s12355-013-0287-9>.
- Prakasa Rao, E. V. S., & Puttanna, K. (2000). Nitrates, agriculture and environment. *Current Science*, 79(9), 1163–1168.
- Price, M. (2003). *Agua Subterranea*. (Vol. 1). San Luis Potoci , (Mexico): Limusa S.A.

- Ruiz, L. F. (2007). Los nitratos y las aguas subterráneas en España. Madrid: Instituto Geológico y Minero de España.
- Salazar, O., Nájera, F., Tapia, W., & Casanova, M. (2017). Evaluation of the DAISY model for predicting nitrogen leaching in coarse-textured soils cropped with maize in the Mediterranean zone of Chile. *Agricultural Water Management*, 182, 77–86. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2016.12.005>.
- S. Hansen, P. Abrahamsen, C. T. Petersen, & M. Styczen. (2012). Daisy: Model Use, Calibration, and Validation. *Transactions of the ASABE*, 55(4), 1317–1335. <https://doi.org/10.13031/2013.42244>.
- Sanchez Ortiz, I. A. (2012). Introduccion a la calidad del agua y al tratamiento de aguas residuales. San juan de pasto. : universitaria, universidad de nariño.
- Sierra Ramirez, C. A. (2011). Calidad del Agua. Medellin: Ediciones de la U.
- Tapia López, W. D. (2014). Evaluación del modelo daisy para predecir pérdidas por. Santiago, Chile.
- Von Esperling, M., & Sanchez Ortiz, I. A. (2005). principio del tratamientobiologico de aguas residuales. San juan De Pasto.: universitaria, Universidad de Nariño.
- Wadsworth, J. (2008). Analisis de los sistemas de produccion animal. (Vol. II). Estudio FAO Produccion y sanidad Animal.